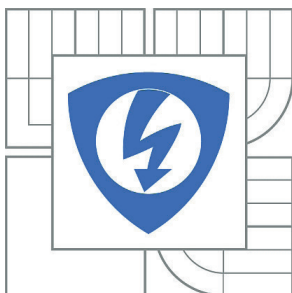


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

AUTOMATICKÝ TESTER HMI

HMI AUTOMATIC TESTER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

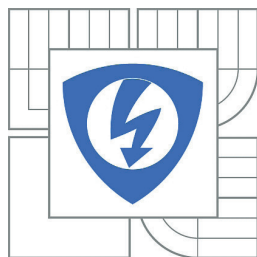
Ing. STANISLAV LANG

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ MACHO, Ph.D.

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Kybernetika, automatizace a měření

Student: Ing. Stanislav Lang

ID: 74188

Ročník: 2

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Automatický tester HMI

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s problematikou automatického testování HMI termostatů vyvíjených ve firmě Honeywell.
2. Proveďte rozbor možných řešení automatického testování uživatelského rozhraní termostatu.
3. Navrhněte koncepci řídicí elektroniky manipulátoru. Nakreslete blokové schéma.
4. Navrhněte řídicí elektroniku manipulátoru, nakreslete celkové schéma zapojení a vypočítejte hodnoty jednotlivých součástek.
5. Vytvořte řídicí program pro manipulátor. Program odlaďte.
6. Optimalizujte rychlost pohybu pohonů manipulátoru s ohledem na dosažení požadované přesnosti nastavení poloh. Řešte kalibraci souřadného systému.
7. Navrhněte a implementujte komunikační protokol umožňující komunikaci mezi počítačem PC a manipulátorem.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] FROHN, Manfred - OBERTHÜR, Wolfgang - SIEDLER, Hans-Jobst - WIEMER Manfred - ZASTROW, Peter. Elektronika - polovodičové součástky a základní zapojení. Praha: BEN 2006. 500 s. ISBN 80-7300-123-3.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 23.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Diplomová práce je věnována problematice automatických testů termostatů vyráběných firmou Honeywell.

První kapitola se obecně zabývá problematikou testování termostatů a následuje diskuse o možných přístupech k řešení. Pozornost je věnována testování funkčnosti uživatelského rozhraní (HMI) termostatů, zejména na část systému zabývající se aktivací dotykového displeje, ale ani ostatní části problematiky nejsou v textu opomenuty. Diskuse problematiky ústí do návržení a implementace konkrétního konstrukčního řešení. Vybraná koncepce 3D-routeru pohybujícího se ve třech ortogonálních osách připomíná například souřadnicovou vrtačku. Nejprve je popsán základní koncept mechanické a elektronické části zařízení, a následně je navržena a realizována řídicí elektronika pro mechanický aktivátor HMI.

Návrh všech elektronických součástí je detailně popsán a hodnoty součástí jsou podloženy výpočtem s výjimkou převzatých částí. Návrh elektroniky se snaží o maximální univerzálnost modulu, pro možnost nasazení v podobných aplikacích. Funkce řídicí elektroniky závisí na mikroprocesoru s uživatelským programem, který je v práci popsán. Zdrojový kód některých (převzatých) částí programu však není přiložen, protože jde o firemní moduly, tj. know how společnosti.

Následně se práce zabývá optimalizací pohybu os, přičemž optimalizace je prováděna empiricky měřením. Důležitou otázkou je dodržení požadované přesnosti polohy, proto je část práce věnována problematice kalibrace polohy.

V neposlední řadě je řešena návaznost na nadřazený systém. Je navržena a realizována horní vrstva komunikačního protokolu používaného ve firmě.

Práce je řešením konkrétního firemního zadání. Přestože se jedná o úzce specifikovanou úlohu, jsou části práce obecně použitelné i pro jiné aplikace. Zejména navržená elektronika představuje relativně univerzální řadič pro řízení krokových motorů.

Klíčová slova

3D-router, automatické testy, kalibrace polohy, komunikační protokol, manipulátor, krokový motor, řadič krokového motoru, dotykový displej

Abstract

This thesis is dedicated to the automation of tests of the thermostats developed by the company Honeywell.

The first chapter presents a problem of self-testing of thermostats, followed by a discussion of possible approaches to solutions. Attention is paid to testing the functionality of the HMI of thermostats, especially to the part of the system, that deals with activation of touchscreen, but no other part of the problem are omitted in the text. Discussions of the problematic passes into the design and implementation of specific design solutions. The selected design of 3D-router, which moves in three orthogonal coordinates and resembles to a coordinate drill for example. First, it describes the basic concepts of mechanic and electronic part of equipment, and subsequently is designed and implemented control electronics for mechanical activator HMI.

Each of the electronics components are described in detail and values of parts are based on the calculation with the exception of finished parts. The proposal of the electronics follows the possibility of maximization of universality module for applications in similar applications. The functionality of the electronics is controlled by a microprocessor with a custom program that is described in the work. Source code of some the programs is not available because it is know-how of the company.

Next part of the thesis deals with optimization of the moving of axes; optimization is done empirically by measuring. An important issue is compliance with the accuracy required position, also part of the work is devoted to the issue of calibration position.

Finally is solved the continuity on the superior system. It is designed and implemented the upper layer of the communication protocol used in the company.

Work is the solution of specific corporate award thesis. Although it is a very specific role of the works are generally applicable for other applications. In particular, the proposed electronic represents relatively universal controller for stepper motor control.

Keywords

3D-router, automated tests, calibration of the position, communication protocol, manipulator, stepper motor, stepper motor driver, touchscreen

Bibliografická citace:

LANG, S. *Automatický tester HMI*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 63s. Vedoucí diplomové práce byl Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Automatický tester HMI jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 23. května 2011

Ing. Stanislav Lang

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Tomáši Macho, Ph.D. a externím konzultantům z firmy Honeywell zejména Mgr. Jiřímu Crhonkovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a za cenné rady při zpracování diplomové práce.

V neposlední řadě děkuji své rodině za všestrannou podporu ve studiu.

V Brně dne: 23. května 2011

Ing. Stanislav Lang

.....

podpis autora

Obsah

1	Úvod	12
2	Testování termostatů vyvíjených ve firmě Honeywell	13
2.1	Termostaty vyvíjené společností Honeywell	13
2.2	Typy testovaných termostatů	14
2.3	Testování termostatů	17
3	Rozbor možností automatického testování termostatů	19
3.1	Požadavky na automatické testování termostatů	19
3.2	Aktivace vstupů HMI	19
3.3	Systém snímání scény a analýza obrazu	22
3.4	Současný stav a možnosti integrace zařízení do nadřazeného systému	23
4	Koncepce řízení manipulátoru	25
4.1	Volba motorů	25
4.2	Řízení krokových motorů	25
4.3	Koncepce elektroniky	26
4.3.1	Modul Řídicí elektronika (logická část)	27
4.3.2	Modul Výkonová část	28
4.3.3	Modul Senzorická část	29
4.3.4	Modul Manuální ovládání a signalizace	30
4.3.5	Modul Elektronika pro sériovou komunikaci	31
4.3.6	Modul Napájení	32
5	Návrh řídicí elektroniky	33
5.1	Obvody mikrokontroléru	33
5.2	Komunikace prostřednictvím rozhraní typu UART	35
5.3	Výkonová část – řadiče motorů	36
5.4	Manuální ovládání, signalizace	38
5.5	Připojení koncových snímačů	39
5.6	Napájení řídicí desky	41
6	Řídicí program pro manipulátor	43
6.1	Inicializace systému	44
6.2	Řízení motorů a optimalizace pohybů	45
6.2.1	Generování signálů pro buzení motorů	48
6.2.2	Stanovení hodnoty časování a parametrů rozjezdů	49
6.3	Kalibrace souřadného systému os	50

6.4	Funkce spouštěné plánovačem úloh.....	51
7	Komunikační protokol.....	52
7.1	Fyzická vrstva	52
7.2	Linková vrstva.....	52
7.3	Aplikační vrstva	52
7.4	Příkazy pro manipulátor	54
7.5	Implementace aplikační vrstvy	55
7.5.1	Stavový automat CommandParser	55
7.5.2	Stavový automat CommandHandler	57
7.6	Obsluha sériové linky.....	58
8	Závěr.....	59
9	Literatura	60
10	Seznam použitých zkratk a symbolů	62
11	Seznam příloh.....	63

Seznam obrázků:

Obrázek 1: Termostat (ilustrační obrázek) [1]	13
Obrázek 2: Termostaty s displejem a mechanickými tlačítky [1]	15
Obrázek 3: Termostaty s dotykovým displejem [1]	15
Obrázek 4: Plně grafický termostat [1]	16
Obrázek 5: Termostaty bez displeje [1]	16
Obrázek 6: Vývojový diagram testování produktu	17
Obrázek 7: Robotická ručka (ilustrační obrázek) [6]	20
Obrázek 8: CNC router (ilustrační obrázek) [7]	21
Obrázek 9: Prototyp 3D routeru	24
Obrázek 10: Koncept řídicí elektroniky pro manipulátor	27
Obrázek 11: A4983 Stepper Motor Driver [6]	28
Obrázek 12: Řadič 5804 [5]	28
Obrázek 13: Vnitřní zapojení obvodu L298 [12]	29
Obrázek 14: Optické závory [11]	30
Obrázek 15: Optická závora TCST1103 [8]	30
Obrázek 16: Komunikace parciálních částí zařízení s nadřazeným PC [13][14][15]	31
Obrázek 17: Schéma řídicí desky – ústřední část	33
Obrázek 18: Převodník USB/RS232 CP2102 [18]	35
Obrázek 19: Schéma řídicí desky – komunikace přes UART	35
Obrázek 20: Schéma řídicí desky – řízení krokových motorů	36
Obrázek 21: Pasivní RC článek, dolní propust 1. řádu [2]	37
Obrázek 22: Schéma řídicí desky – tlačítka	38
Obrázek 23: Schéma řídicí desky – signalizační LED diody	39
Obrázek 24: Schéma řídicí desky – Svorky pro připojení optických závor	39
Obrázek 25: Realizace součtu signálů z optických závor	40
Obrázek 26: Schéma řídicí desky – napájení	41
Obrázek 27: Vývojový diagram inicializace systému	44
Obrázek 28: RL článek [3]	45
Obrázek 29: Proudová odezva na jednotkový skok napětí	46
Obrázek 30: Obdélníkový signál a jeho aproximace první harmonickou složkou	46
Obrázek 31: Frekvenční charakteristika cívky motoru	47
Obrázek 32: Průběh napětí na jedné cívce motoru pro dvě různé frekvence a) 0,5Hz b) 2Hz ..	47
Obrázek 33: Základní schéma funkce pro řízení motorů	48
Obrázek 34: Schéma umístění snímačů v rovině X a Y	50

Obrázek 35: Tvar příkazu pro manipulátor	53
Obrázek 36: Tvar odpovědi na příkaz (zaslaný z PC).....	53
Obrázek 37: Vývojový diagram stavového automatu CommandParser	56
Obrázek 38: Zjednodušený vývojový diagram funkce CommandHandler	57

1 ÚVOD

Zadavatelem práce firma Honeywell, která je významnou mezinárodní konglomerativní společností s hlavním sídlem ve státě New Jersey v USA. Společnost se zaměřuje především na odvětví (viz. [22], [23]):

1. Letectví
2. Řízení budov a průmyslových procesů
3. Speciální materiály
4. Dopravní systémy
5. Výzkum a vývoj

Jednou z hlavních domén působnosti firmy je vývoj řídicích prvků pro automatizaci budov. Na oddělení uvedeného zaměření se na brněnské pobočce vyvíjí software pro termostaty, potažmo pro řídicí jednotky klimatizace.

V rámci vývoje je nutno provádět série testovacích procedur, kterým jsou podrobovány vyvíjené produkty jednak během jednotlivých etap vývoje a jednak v rámci komplexního testování funkčnosti finálního produktu. Velká část testů je v zásadě rutinním opakováním jednoduchých operací, a tudíž mohou být mnohé části testovacích procedur automatizovány.

Vývoj testovacího systému není v současné době prioritou firmy a tudíž vývoj či zakoupení hotového produktu není uvažováno. Na projektu proto pracují zaměstnanci pouze v době, kdy jsou málo vytíženi, anebo se řešení stávají tématem prací studentů.

Tato práce je soustředěna na návrh a realizaci zařízení pro aktivaci tlačítek a dotykového displeje na panelech termostatů. Práce je řešena za stálé konzultace s pracovníky firmy Honeywell, jelikož výsledné řešení musí plnit požadavky návaznosti na již existující části systému.

V prvních kapitolách jsou představeny vyráběné a testované produkty, je diskutována problematika testů a popsáno zvolené řešení pro realizaci.

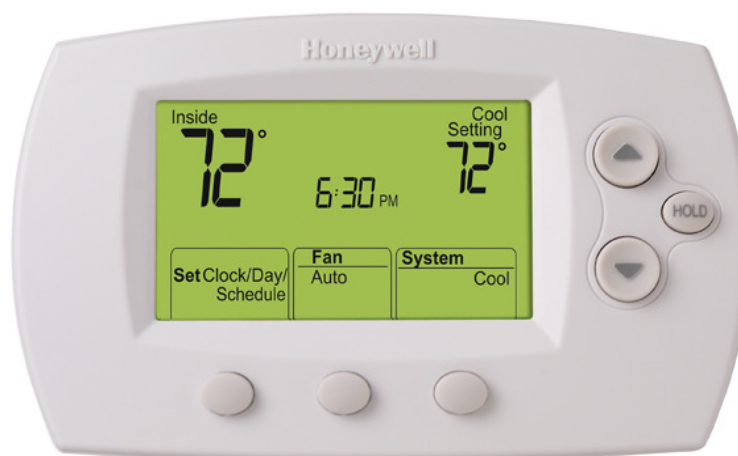
Druhá část práce se věnuje popisu realizace elektroniky a řídicího programu pro „manipulátor“ resp. „3D-router“. Druhý z uvedených pojmů lépe vystihuje fyzické provedení a je používán v teoretické části práce. Dále je používán pojem „manipulátor“, který se pro uvedené zařízení v běžné komunikaci na oddělení ustálil.

2 TESTOVÁNÍ TERMOSTATŮ VYVÍJENÝCH VE FIRMĚ HONEYWELL

2.1 Termostaty vyvíjené společností Honeywell

Termostaty vyvíjené společností Honeywell (dále jen „termostaty“) jsou relativně sofistikovaná zařízení, která svými schopnostmi užívaný pojem „termostat“ přesahují. Jedná se v podstatě o řídicí systémy klimatizace, které je možno používat buď samostatně, nebo integrovat do rozsáhlejšího systému řízení budovy. Termostaty mohou kromě teploty regulovat rovněž vlhkost a výměnu vzduchu.

Kromě snímačů integrovaných přímo v těle termostatu je možno připojit i externí měřicí jednotky. Uživatelské rozhraní termostatu, je zpravidla vybaveno grafickým displejem (s výjimkou nejjednodušších modelů). Na základě informací o skutečných hodnotách regulovaných veličin (teplota, vlhkost) a informací o hodnotách přednastavených (žádaných) jsou ovládány výstupy regulátoru. Výstupy termostatu jsou výhradně dvoustavové, realizované jako spínací relé, která jsou buď součástí samotného termostatu, nebo jsou dedikovaná a ovládaná buď po sériové lince či prostřednictvím radiové komunikace přes speciální firemní protokol. Ovládána je celá řada výstupů, v první řadě je zde výstup pro topení („heating“) a chlazení („cooling“), rovněž výstup pro sepnutí ventilátoru, jímž je ovlivněna cirkulace vzduchu. Pomocí vhodné kombinace topení, chlazení a větrání lze dosáhnout požadované vlhkosti vzduchu i bez použití externích zvlhčovačů a odvlhčovačů, které je však možno také připojit na vyhrazené výstupy. Další výstupy regulátoru pak slouží pro indikaci chybových stavů či ovládání záložních topidel.



Obrázek 1: Termostat (ilustrační obrázek) [1]

Termostaty slouží pro regulaci teploty nejčastěji v obytných prostorách, kde jsou v rámci dosažení vyššího komfortu upřednostňována provedení vybavená grafickým displejem a ovládacími tlačítky, případně dotykovým displejem (touchscreen). Uživatelské rozhraní (HMI) je vybaveno celou řadou funkcí pro indikaci a ovládání, od zobrazení žádané a skutečné teploty (volitelně ve stupních Celsia či stupních Fahrenheita), indikace topení, chlazení a větrání, přes zobrazování času až po indikaci zvláštních stavů, jako například upozornění na skutečnost vybitých baterií.

Uživatel zadá žádanou teplotu nastavovanou ve čtyřech časových periodách, a to „wake“, „leave“, „return“ a „sleep“. Wake je ranní teplota požadovaná počínaje dobou, kdy uživatel vstává. Následuje další perioda „leave“, kdy se předpokládá, že prostory jsou přes pracovní dobu opuštěny a do návratu uživatele („return“) je možné udržovat teplotu nižší, po návratu pak opět teplotu uživateli příjemnou. Na noc je aktivní perioda „sleep“, zde bývá teplota zpravidla opět nižší. Dále je možno nastavit rozdílné parametry cyklů v rámci dnů v týdnu, atd.

Uživatelská nastavení (nastavení teploty, cirkulace vzduchu, času, atd.) jsou zadávána buď prostřednictvím „user interface“, tedy uživatelského rozhraní (což je častější varianta), rovněž lze zařízení spravovat vzdáleně po sériové lince či radiově, tento případ uvažujeme pro rozsáhlejší prostory s centralizovanou správou. Oba způsoby nastavení jsou rovnocenné, data jsou aktualizována v paměti typu EEPROM a jsou tak zachována i v případě odpojení zařízení od zdroje elektrické energie.

2.2 Typy testovaných termostatů

Dříve než přistoupíme k úvahám ohledně možností automatického testování, představíme si základní provedení termostatů. Nabídka termostatů firmy Honeywell je poměrně široká a obsahuje celou řadu typových řad. Jelikož se však zaměřujeme v rámci testování na ovládání termostatu prostřednictvím HMI, můžeme produkty z pohledu provedení uživatelského rozhraní rozdělit do několika základních kategorií:

1. Termostaty s displejem a mechanickými tlačítky
2. Termostaty s touchscreenem (tlačítka na displeji)
3. Termostaty s plně grafickým touchscreenem
4. Ostatní typy provedení termostatů

Do první uvedené kategorie (našeho členění dle provedení uživatelského rozhraní) spadá velké množství produktů, od velice jednoduchých, kdy na displeji je zobrazena jen žádaná či naměřená teplota, přes zařízení komfortnější až po vysoce sofistikovaná. Pro ovládání slouží uživatelská tlačítka mechanického provedení. Počet tlačítek se pohybuje obvykle od čtyř do sedmi. Pro nastavení některých parametrů se používají dvojhmaty, tj. současné stisknutí dvou tlačítek.

Množství parametrů indikovaných displejem se odvíjí od provedení modelu, nepřímo je tím určena i velikost displeje samotného.



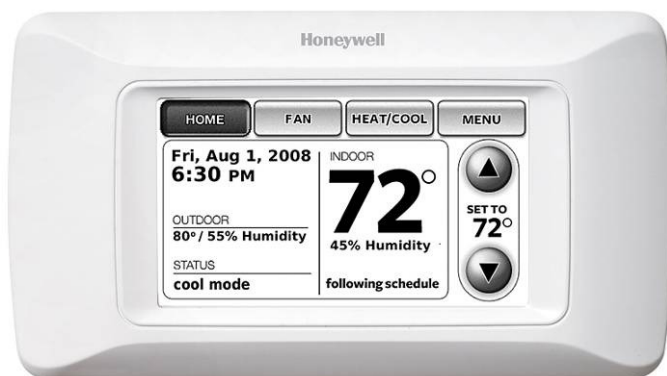
Obrázek 2: Termostaty s displejem a mechanickými tlačítky [1]

Druhá kategorie termostatů představuje zařízení vybavená poměrně velkým displejem, který má dotykové oblasti s vlastností touchscreeenu. Ovládání je podobné jako u přístrojů první kategorie, přičemž mechanická tlačítka jsou nahrazena tlačítky na displeji. Termostaty této třídy jsou ale zpravidla sofistikovanější a umožňují pokročilejší nastavení. Na displeji je též zobrazováno větší množství informací než u přístrojů spadajících do prve popsané kategorie. Pro ovládání je zde více tlačítek a již se většinou nepředpokládají „dvojhmaty“.



Obrázek 3: Termostaty s dotykovým displejem [1]

Třetí kategorie našeho dělení termostatů představuje nejmodernější a nejsofistikovanější zařízení, která skýtají vysoký komfort uživatelského ovládání, protože nabízí plně grafické prostředí na barevném dotmatrixovém displeji. Touchscreen je rezistivního typu, tudíž dvojhmaty se nejen nepoužívají, ale jsou zcela nepřístupné (nefunkční).



Obrázek 4: Plně grafický termostat [1]

Pro úplnost je třeba zmínit ještě třídu zcela jednoduchých termostatů bez grafického rozhraní, vybavených tlačítky výjimečně i otočnými prvky pro nastavení žádané teploty. Uvedenou třídu uvádíme pro úplnost výčtu, do našeho testování ji však zahrnovat nebudeme.

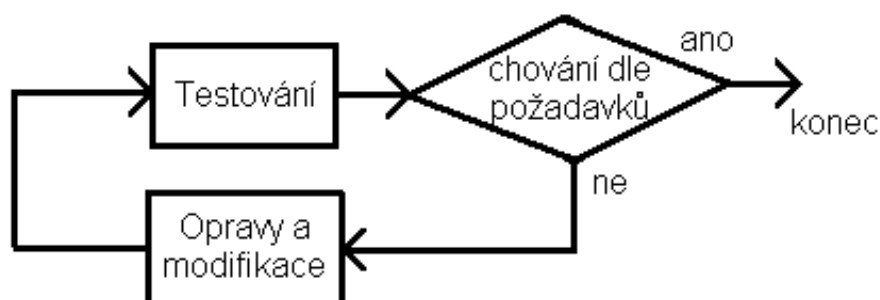


Obrázek 5: Termostaty bez displeje [1]

2.3 Testování termostatů

Uvážíme-li rozsáhlé možnosti konfigurace termostatů, sofistikované metody regulace, ale především uživatelsky přívětivé grafické rozhraní, nepřekvapí nás, že jejich hardwarová realizace se neobejde bez mikroprocesoru. Realizace tak představuje vývoj hardwaru i softwaru zajišťujícího funkci zařízení. Aby se na trh dostaly plně funkční a odladěné produkty tak, aby bylo dosaženo spokojenosti zákazníka, musí vše fungovat bez chyb. Proto jsou produkty podrobovány přísným testům a v rámci ladění jsou postupně odstraňovány případné nedostatky, jak hardwarové tak softwarové. Dle firemních předpisů jsou produkty podrobovány jednotlivým testům v průběhu vývoje, kdy jsou po realizaci každého vývojového kroku prováděny dílčí testy pro ověření vhodnosti postupů v rámci dané vývojové etapy a test často zahrnuje i části testů předešlých.

Po ukončení vývoje následuje etapa komplexního testování produktu. Zjednodušeně řečeno se zkoumá, zda se zařízení jako celek chová dle požadavků (specifikovaných v popisu přístroje). Testy představují několikanásobné opakování řetězce přesně popsaných testovacích procedur a na základě výsledků testů jsou dle potřeby prováděny dodatečné úpravy. Každá úprava však znamená zásah do systému jako celku a vyžaduje opětovné celkové testování. Testování je tedy iterativním procesem, kdy jsou postupně odstraňovány veškeré nedostatky tak, aby zařízení bylo plně funkční.



Obrázek 6: Vývojový diagram testování produktu

Předmětem testování jsou všechny podstatné vlastnosti zařízení. Jednak je třeba ověřit správnou funkčnost na straně vstupů, tj. provést kontrolu správnosti měření fyzikálních veličin (teploty, případně vlhkosti). Na straně výstupů sledujeme, zda se spínací prvky chovají dle požadovaných regulačních algoritmů. Dále je předmětem testu komunikace se zařízením v rámci vzdálené správy a v neposlední řadě přichází v úvahu testování uživatelského rozhraní. Veškeré části testování jsou spolu provázány a spolu souvisí.

Diplomová práce je zaměřena především na testování uživatelského rozhraní (HMI, „user interface“). V rámci testování HMI sledujeme, zda uživatelské rozhraní reaguje na příchozí podněty a zda indikované stavy korespondují se skutečnými stavy výstupů

(např. jestliže user interface indikuje stav „heating“, pak musí být sepnuto i patřičné relé).

Testy lze ve zjednodušení popsat sadou otázek:

1. Koresponduje indikovaná hodnota se skutečností?
2. Chovají se tlačítka dle specifikace?
3. Nastavují se hodnoty pomocí tlačítek dle specifikace?
4. Lze nastavit všechny volitelné parametry?
5. Uloží se nastavení správně do paměti, tj. najdu v paměti naposledy uloženou hodnotu?
6. Koresponduje sled obrazovek s popisem?

A bylo by možné pokračovat...

Na všechny výše uvedené otázky musí odpovědět pracovník provádějící testování na základě výsledků testů. Výsledky jsou vždy zaneseny do reportu (zprávy) pro možnost pozdější analýzy.

Podstatná část testovacích procedur probíhá způsobem, že osoba provádějící testování zadává podněty prostřednictvím klávesnice či touchscreenu a sleduje chování displeje. Jak bylo již zmíněno, testování probíhá na základě přesně popsané procedury, v jasně popsaném sledu akcí, aby byly systematicky otestovány všechny klíčové situace, které připadají v úvahu. Testování probíhá opakovaně v kombinaci s různými podněty na vstupech.

Ohřev a ochlazení prostor je simulováno pomocí potenciometrů připojených namísto čidel. Jelikož jsou některé procesy simulovány na modelech napodobujících skutečnou regulovanou soustavu (klimatizovanou místnost), je testování časově poměrně náročnou úlohou, neboť často nastávají situace, že pracovník stiskne tlačítko a musí čekat, protože správnost odezvy lze vyhodnotit až kupříkladu po dvou minutách, neboť odezva je pomalá. Práce je časově náročná, přitom z velké části spočívá pouze ve stále se opakující sekvenci úkolů typu:

- a) stiskni tlačítko
- b) čekej
- c) zhodnot', zda zobrazení na displeji koresponduje se vzorem

Skutečnost rutinního opakování přesně popsaných kroků nutně vyvolává otázku, zda nelze proces automatizovat. Automatizační systém by musel umět aktivovat klávesnici případně touchscreen a vyhodnotit vyobrazení na displeji. Oba výše zmíněné úkoly jsou řešitelné a jsou řešeny.

3 ROZBOR MOŽNOSTÍ AUTOMATICKÉHO TESTOVÁNÍ TERMOSTATŮ

3.1 Požadavky na automatické testování termostatů

Chceme-li dosáhnout automatizace procesu, v našem případě automatického testování uživatelského rozhraní termostatů, musíme uvážit veškeré činnosti pracovníka provádějícího testy. Automatický testovací systém má pro vybranou skupinu činností člověka zcela zastoupit, proto musí provádět činnost stejně jako fyzická osoba, a to na úrovni aktivační (aktivování klávesnice), senzorické i v oblasti vyhodnocení provedených odezev.

Automatické testovací zařízení rozdělíme na několik částí:

1. Mechanismus pro aktivaci tlačítek resp. touchscreeenu
2. Proces řízení aktivačního mechanismu
3. Snímání displeje
4. Analýza zobrazení na displeji a porovnání s požadovaným vzhledem
5. Nadřazený systém pro zajištění logické návaznosti a synchronizace jednotlivých akcí

3.2 Aktivace vstupů HMI

První dva body (mechanismus a řízení aktivační části automatického testovacího systému) jsou jádrem diplomové práce a budou podrobněji rozebrány. Naším úkolem je vytvořit „ruku testovacího pracovníka“ včetně „intelligence“ potřebné pro její ovládání.

Požadavkem na aktivační systém je značná univerzálnost a pokud možno neinvazivnost. Současný způsob aktivace mechanických tlačítek, kdy jsou tlačítka přemostěna malými relátky, není proto příliš vhodný. Nevýhodou metody je zmíněná invazivnost, neboť relátka je nutno na kontakty pevně a vodivě připevnit, což vyžaduje značné úsilí a demontáž krytu termostatu. Uvedená metoda je navíc omezena pouze na termostaty s mechanickými kontakty, neboť obdobný přístup je pro touchscreen nepřijatelný.

Nezbývá tedy než vytvořit zařízení, které bude aktivovat rozhraní „user interface“ skutečně mechanicky.

Prvním ze způsobů je použití elektromagnetických kladívek, cívek s pohyblivým jádrem, kdy přivedením proudu jedním směrem způsobíme vypuzení jádra směrem z cívky (opačnou polaritou zase opětovně zasunutí). Soustava takových elektromagnetických kladívek by tvořila pevně dané maticové uspořádání. Nevýhodou řešení je malý dosah aktivačního prvku (řádově mm) a malá přesnost, neboť představíme-li si matici zmíněných elektromagnetických akčních prvků, musíme uvažovat minimální vzdálenost mezi dvěma sousedními body, kam kladívko uhoří. I

kdyby byla vzdálenost dvou bodů necelý centimetr (menší rozměr než 1 cm by mohl narážet na realizační problémy vzhledem k požadavkům na výkon), zařízení má stále příliš hrubé rozlišení na to, aby ovládalo touchscreen. Navíc velký problém by představovalo vhodné umístění případné kamery snímající scénu (přípravek by se nalézal příliš těsně nad termostatem a pravděpodobně by zcela zastínil snímanou scénu).

Podobným řešením (využitelným pouze pro touchscreen) jsou elektronicky ovládané tabulky sloužící nevidomým ke čtení. Jedná se o destičku podobnou touchpadu, na jejímž povrchu je tvořen text v Braillově písmu, takže je nevidomý může číst a interaktivně tak pracovat s počítačem. Jestliže je možné tvořit jakýkoli text v Braillově písmu, znamená to, že máme k dispozici matici bodů. Rozlišení je zde již velmi dobré, protože rozteč bodů je asi 1mm. Bod při aktivaci vystoupí nad povrch zhruba 1mm, což je poměrně málo a preparát bychom museli na displej (pevně) připevnit. Opět by vznikl problém se snímáním obrazovky, pokud by destička nebyla zcela transparentní. Nehledě na nutnost připevnění a praktickou použitelnost pouze pro ovládání touchscreeenu je hlavní nevýhodou nastíněného řešení vysoká cena, neboť zmíněné tabulky jsou finančně velmi nákladné, a bylo by nutné pořídit celou sadu v různých velikostech pro všechny rozměry používaných touchscreenů.



Přiblížíme se tedy představami blíže k pojetí přístroje jako „ruky provádějící aktivaci HMI“. Relativně velmi elegantním řešením je nasazení robotické ručky (dále jen „ručky“).

Značnou výhodou použití ručky je skutečnost minimálního clonění kameře (uvažujeme-li kameru nad scénou). Řešení má sice velmi mnoho pozitiv, ale je zároveň dosti náročné, protože je třeba převádět pozici mezi souřadnicemi scény a souřadnicemi kloubů ručky. Chceme-li dosáhnout požadované polohy konce ručky ve scéně, musíme přepočítat polohu na nastavení jednotlivých kloubů, což vede na tzv. inverzní úlohu kinematiky, jejíž řešení je často víceznačné. Další nevýhodou je poměr robustnosti zařízení a ceny.

Obrázek 7: Robotická ručka (ilustrační obrázek) [6]

Nechceme-li sáhnout po profesionálním zařízení v řádu desítek či stovek tisíc korun, použijeme klasické ručky spadající do kategorie hobby, kde dosahujeme nižší přesnosti pohybu. Činnost (aktivačního zařízení testovacího systému) by vyžadovala poměrně často prováděnou kalibraci polohy (což ještě není nepřekonatelnou překážkou). Větším

problémem je malý výkon hobby zařízení, tj. malá síla, kterou může ručka vyvolat, neboť na rozdíl od touchscreeenu, kde stačí síla minimální, požadujeme v případě aktivace mechanického tlačítka sílu v řádu několika newtonů. Navíc je třeba mechanické tlačítko stlačit ve směru kolmém na rovinu zařízení, resp. je vyžadována určitá definovaná síla v kolmém směru, a jestliže nepůsobíme kolmo, musíme pro aktivaci vyvinout sílu větší.

Nejhodnějším řešením z pohledu robustnosti zařízení a složitosti jeho řízení se jeví použití 3D CNC routeru. 3D routery se používají především k povrchovému tváření dřeva, plastů, případně kovů. Zpravidla umožňují kromě pohybu ve třech osách i rotační pohyb hrotu pro případ vrtání, ale v základním pojetí uvažujeme pohyb ve třech osách.



Obrázek 8: CNC router (ilustrační obrázek) [7]

3D router se pohybuje de facto stejným způsobem jako halový mostový jeřáb. V jednom ze směrů jezdí kolejnice, po níž se pohybuje „kočka“ se zdvihacím zařízením (v případě CNC routeru nástroj). Popsané dva pohyby zajistí přesnou pozici nad scénou, konečně je zde umožněn pohyb ve vertikálním směru. Jedná se o velmi jednoduché řešení, kdy najíždíme na požadované pozice (x,y) a zde aktivujeme pohyb umělého prstu ve vertikálním směru pro aktivaci touchscreeenu či tlačítka. Vhodnou volbou motorů je zajištěna i dostatečná síla stisku a stisk je již z povahy zařízení vždy kolmý. Stejně jako v případě ručky musíme zajistit stálou přesnost údaje o pozici zařízení nad scénou, tedy provádíme dle potřeby kalibraci polohy (což je však ve srovnání s ručkou velice jednoduché, stačí zajet do koncových poloh).

Kolejnice 3D routeru pohybující se nad scénou je poměrně velká, proto bude-li kamera umístěna pevně nad zařízením, bude muset kolejnice routeru po každé akci odjet ze zorného pole kamery, aby bylo na displej vidět. Druhou možností je připevnění kamery na pohyblivou část s tím, že kolejnice bude muset opět zaujmout vhodnou pozici, nebo bude displej v obraze hledán softwarově. Konečně je tu i možnost použití dvou pevně připevněných kamer snímajících scénu zboku, v takovém případě by se ze dvou nekompletních snímků displeje skládal (softwarově) výsledný obraz.

3D routery se vyrábí ve velkém množství variant. Některá provedení jsou natolik velká, že rozloha scény je v řádu jednotek metrů čtverečních. Pro naše potřeby zcela postačí rozloha scény do $0,1\text{m}^2$. Vzhledem k tomu, že komerční provedení jsou poměrně nákladná (cena malých 3D routerů se pohybuje v řádu desítek tisíc korun včetně software) a vzhledem k relativně malé náročnosti konstrukce přístroje je uvažována možnost vlastní výroby včetně software „šitého“ na míru našim potřebám. Návrhu je věnována převážná část této práce.

Aktivační zařízení je potřeba integrovat do nadřazeného systému automatického testování, a to bez ohledu na způsob jeho provedení. Je potřeba zajistit řízení a komunikaci. Neuvažujeme-li komerční přístroj vybavený řídicím software, bude naším úkolem vrstvu řízení vytvořit. Jednak uvažme provedení elektroniky a jednak software.

3.3 Systém snímání scény a analýza obrazu

Vyžadujeme-li neinvazivní metodu snímání, nezbývá nám prakticky jiná možnost, než nasadit kamerový systém. V případě, že bychom zařízení upravili tak, aby posílalo výstup nejen na displej ale i na jiné (v našem případě vyhodnocovací) zařízení, museli bychom zasáhnout do kódu termostatu, což by zvýšilo požadavky na velikost kódu a implementace pomocného softwarem by mohla ovlivnit chování přístroje.

Pro případ barevných touchscreenů se nespokojíme s černobílou kamerou, protože budeme posuzovat i barvy jednotlivých grafických elementů na zobrazovacím zařízení, což předpokládá zvýšení nároků na systém analýzy obrazu.

Snímky z kamery musí být zpracovány a vyhodnoceny. Jestliže má kamera větší záběr a na snímku není pouze displej, je nutné (pokud možno automaticky) najít pozici krajů displeje a provést výřez, dále bude zpracováván pouze obraz displeje. Bude provedena detekce hran a případně prahování (práce s binárním obrazem je výpočetně jednodušší). Získaný (binární) obraz je pak možno porovnat se vzorem. Samotná úloha porovnání a vyhodnocení shody je poměrně náročnou operací a je potřeba použít sofistikovanější metody, protože nebude stačit pouhé porovnání obrazů, neboť metoda by byla příliš citlivá na nedokonalosti při snímání. Buď budou vyhodnocovány vybrané základní příznaky (počet hran v daných řezech, či podobné atributy), nebo bude obraz vstupem naučené umělé neuronové sítě (zde však musíme opět uvážit, v jaké formě obraz neuronové síti předložíme).

3.4 Současný stav a možnosti integrace zařízení do nadřazeného systému

V současné době je projekt vývoje automatického testovacího zařízení pozastaven a pracovníci firmy na něm pracují pouze v případě malého vytížení. Testovací systém jako celek se skládá z jednotlivých částí, přičemž některé z nich jsou již víceméně hotové, jiné rozpracované či provizorně řešené.

Kupříkladu integrace modelu regulované soustavy (tj. klimatizované místnosti) do řídicího systému automatických testů je již hotova. Systém pro vyhodnocení stavů výstupů termostatu je relativně jednoduchý, jelikož sleduje pouze dvouhodnotové výstupy. Systém pro vyhodnocení zobrazení na displeji je ve vývoji, metoda je neinvazivní, založená na vyhodnocení obrazu z kamery.

Konečně systém pro aktivaci HMI je v současné době realizován pomocí přemost'ování (zkratování) kontaktů tlačítek malými relátko, metoda je bohužel invazivní a použitelná pouze pro HMI s tlačítky. Dále byl vyvinut „touchscreen-simulátor“, pomocí něhož lze simulovat dotykový displej, ale jedná se opět o invazivní metodu, kdy je simulátor napojen na kontakty pro dotykový displej. Byl proto vznesen požadavek na realizaci mechanického aktivátoru touchscreeenu.

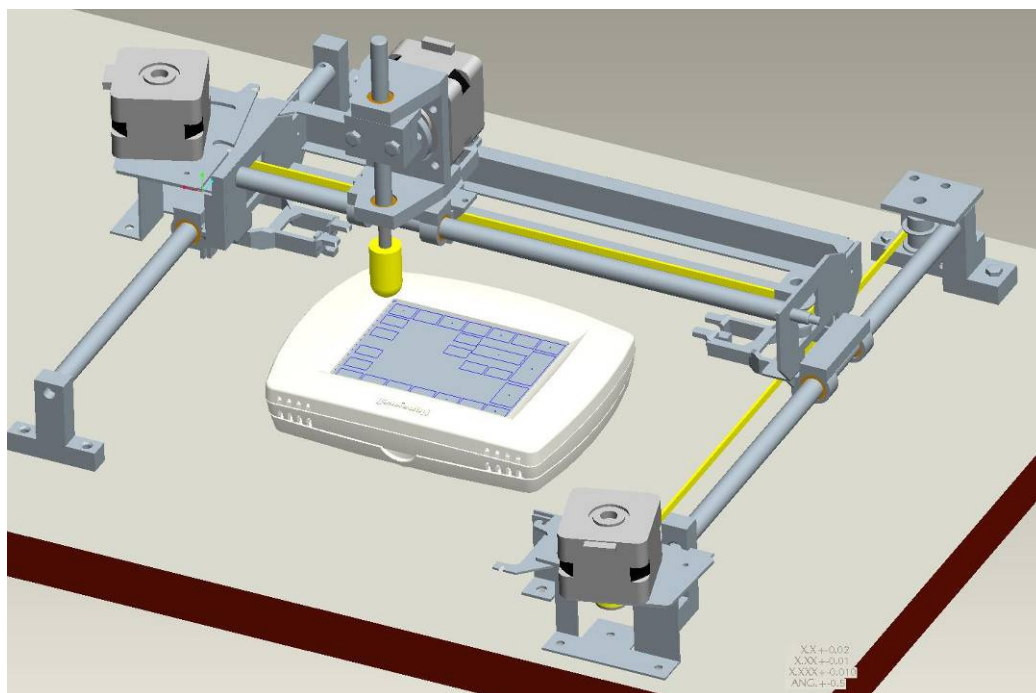
Aktivační zařízení musí (jako všechny části testovacího systému) splňovat požadavky návaznosti na nadřazený systém (PC s řídicím programem). Hlavními úkoly nadřazeného systému:

1. Možnost zadání jednotlivých kroků testování
2. Vytvoření databáze pozic jednotlivých grafických prvků na displeji
3. Zadání souřadnic (pozic na termostatu) pro aktivaci
4. Testování a kalibrace zařízení nižší úrovně
5. Hlášení či oprava případných poruch (např. vlivem nepřesnosti aktivačního zařízení...)
6. Vytváření reportů (výsledků testování)

Nadřazený systém je vytvářen paralelně s jednotlivými částmi a soustavně doplňován. Integrace vytvářeného zařízení do systému na straně PC není předmětem této práce, která se zabývá pouze řízením aktivačního zařízení na nižší úrovni a komunikací s nadřazeným systémem na straně zařízení. Zařízení bude připojeno k PC prostřednictvím virtuální sériové linky typu UART přes komunikační linku USB.

Jádrem diplomové práce je realizace aktivační části testovacího systému, tj. realizace aktivačního zařízení včetně prostředků pro řízení a ovládání. Nejvhodnějším řešením se jeví použití 3D routeru (dále je používán na pracovišti zažitý pojem „manipulátor“). Velikou výhodou je jednoduchost řízení.

Co se týká mechanické konstrukce, první prototyp byl již vyvinut firemními konstrukčními inženýry.



Obrázek 9: Prototyp 3D routeru

Na obrázku je vidět provedení prototypu. Pohyb v obou horizontálních souřadnicích je zajištěn po leštěných tyčích, na nichž jsou nasazena kluzná ložiska. Pohyblivé části jsou poháněny rotačními motory přes ozubenou řemenici (použití lineárních motorů by bylo drahé a nepřineslo by ceně odpovídající výhody).

K uvedenému zařízení je nutno zvolit vhodné pohony, navrhnout řídicí elektroniku a realizovat řídicí software.

4 KONCEPCE ŘÍZENÍ MANIPULÁTORU

4.1 Volba motorů

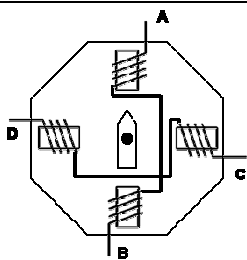
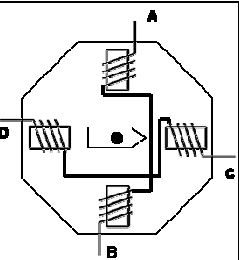
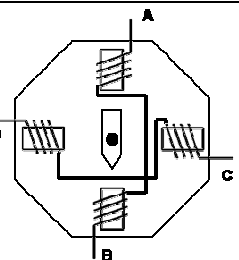
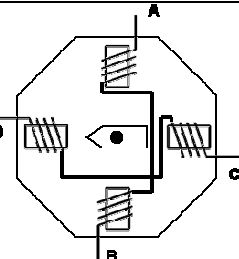
Motory musí být vybrány tak, aby byly výkonově dostatečně dimenzované a aby zajistily dostatečně přesný a rychlý pohyb routeru. Nabízí se možnost použití stejnosměrných či krokových motorů. Při použití krokových motorů odpadá nutnost měření polohy pomocí dalších senzorů, protože dráhu je možné přesně definovat na základě počtu kroků. Samozřejmě, dojde-li k přetížení krokového motoru a ztratě kroků, správnou informaci o poloze ztratíme. Uvažujeme však motory dimenzované tak, aby k přetížení během normálního provozu nedošlo. Problémy jako přítomnost mechanické překážky již může vyhodnotit nadřazený systém při vyhodnocování výsledků. Podobných výhod jako u krokových motorů bychom mohli dosáhnout volbou stejnosměrného elektromotoru vybaveného snímačem otáček. Například motory firmy Maxon mají možnost rozšířit motor o otáčkový enkodér. Z pohledu regulace je však vhodnější krokový motor, protože jej můžeme řídit sledem pulzů (např. z mikrokontroléru) a není potřeba zavádět zpětnou vazbu jako u stejnosměrného motoru, kdy přesnou polohu zajistíme pomocí servomechanismu.

Realizace s krokovými motory bude navíc levnější a jednodušší z pohledu řízení, proto se přikláníme k dané variantě, což však neznamená, že bychom v průběhu dalšího vývoje nemohli změnit názor a přikročit k nasazení stejnosměrných motorů.

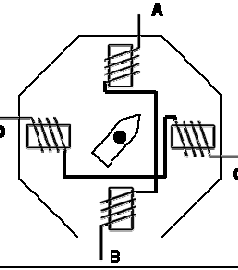
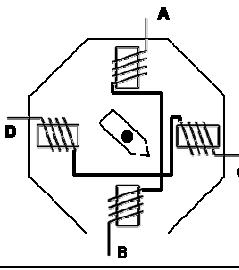
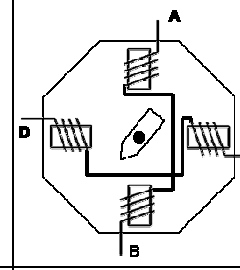
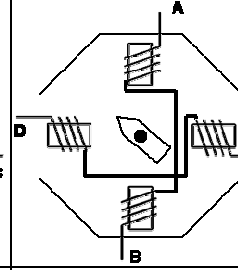
4.2 Řízení krokových motorů

Klasické krokové motory lze řídit ve třech základních režimech a to vždy unipolárně (mají-li vyvedené středy cívek) nebo bipolárně. Použité motory jsou řízeny bipolárně, uvedeme tedy pouze bipolární řízení.

Tabulka 1: Bipolární jednofázové řízení s plným krokem [8], [27]

Animace				
Proud cívkou 1	A -> B	0	B -> A	0
Proud cívkou 2	0	C -> D	0	D -> C

Tabulka 2: Bipolární dvoufázové řízení s plným krokem [8], [27]

Animace				
Proud cívkou 1	A -> B	B -> A	B -> A	A -> B
Proud cívkou 2	C -> D	C -> D	D -> C	D -> C

Tabulka 3: Bipolární řízení s polovičním krokem [8], [27]

Animace								
Proud cívkou 1	A -> B	A -> B	0	B -> A	B -> A	B -> A	0	A -> B
Proud cívkou 2	0	C -> D	C -> D	C -> D	0	D -> C	D -> C	D -> C

Pro naši aplikaci jsme zvolili bipolární řízení v půlkrokovém režimu. V režimu otáčení motoru po půlkrocích má motor největší výkon a přesnost. Napájení volíme bipolární, jelikož využijeme celá vinutí motoru (nikoli jen jejich poloviny), což představuje výrazné zvýšení výkonu v porovnání s variantou unipolárního napájení.

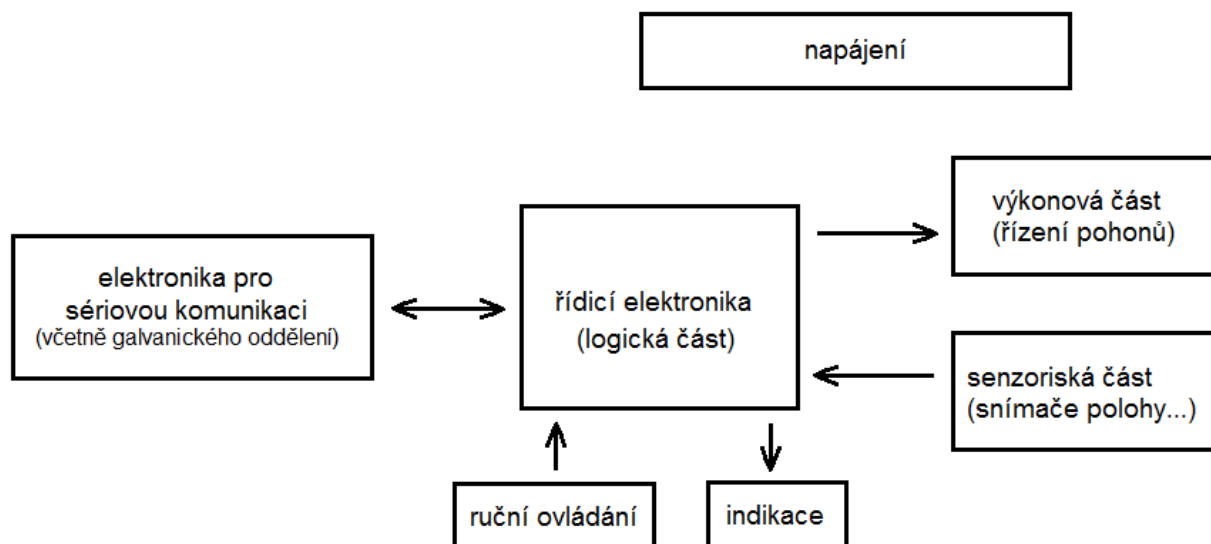
4.3 Koncepce elektroniky

Pro řízení motorů je zde zapotřebí výkonové části realizující řadiče motorů, dále je nezbytnou součástí elektroniky senzorická část. Logická část elektroniky, která výše uvedené celky spojuje, je doplněna o možnosti manuálního ovládání, vizuální indikace a disponuje komunikačním rozhraním s nadřazeným systémem.

Pro přehlednost proto pojmenujme jednotlivé celky:

1. Řídicí elektronika (logická část)
2. Výkonová část
3. Senzorická část
4. Manuální ovládání
5. Indikace
6. Elektronika pro sériovou komunikaci
7. Napájení

Komunikaci mezi jednotlivými moduly znázorňuje následující schéma.



Obrázek 10: Koncept řídicí elektroniky pro manipulátor

Úkolem logické části je zajištění správného fungování celého zařízení. Pojem řídicí elektronika v podstatě zahrnuje všechny moduly a výsledná realizace má skutečně podobu jedné desky plošných spojů (dále jen DPS). Pro vyšší názornost je však deska rozdělena do sedmi abstraktních modulů vyjmenovaných výše.

4.3.1 Modul Řídicí elektronika (logická část)

Veškeré logické řízení manipulátoru je realizováno pomocí mikrokontroléru, jedinou výjimkou je povel pro nouzové zastavení motorů (které je realizováno nezávisle na mikroprocesoru). Mikropočítač obsahuje kód pro řízení motorů, vyhodnocení informací ze senzorů, kód pro realizaci sériové komunikace atd., je tudíž součástí i dalších (abstraktních) modulů. Mluvíme-li však o logickém řízení, máme na mysli zajištění vyšší funkce jako je optimální rozjezd a zastavení motorů, kalibrace polohy atd. Mikrokontrolér musí proto kromě dostatečného množství vstupních a výstupních pinů disponovat uspokojujícím výpočtním výkonem.

Při výběru mikrokontroléru musíme zohlednit všechny požadavky na řízení. Jednak potřebujeme generovat signály pro řízení motorů, je potřeba připojit snímače polohy. Další piny je nutno rezervovat pro sériovou komunikaci, pro programovací rozhraní JTAG a ISP. Neopomeňme ani tlačítka na uživatelském rozhraní a indikační LED diody.

Uvedme požadavky na vstupně/výstupní piny od nezbytných částí:

3 x motor (4 řídicí signály / motor)	12
5 x snímač polohy	5
JTAG	4
ISP	3

Ve výsledné realizaci jsou využity i další funkce. Pro výsledné provedení byl vybrán čip ATmega128 resp. ATmega128A, který je komerčně snadno dostupný, je poměrně levný (GME: 165Kč k datu 29. 12. 2010) a nabízí zcela dostatečný výkon a periferní vybavení. Desku lze osadit i čipem ATmega1281.

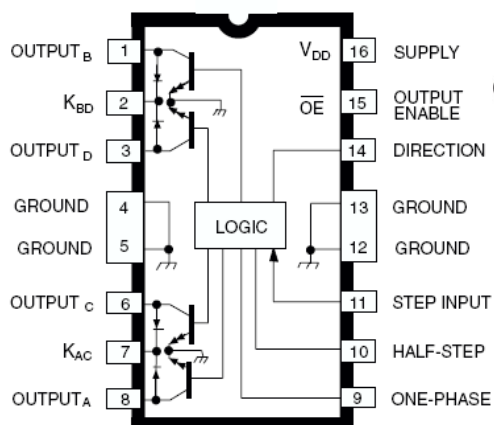
Uveďme základní parametry ATmega128A, bližší popis viz manuálové stránky [19].

Výpočetní výkon	16MIPS (při frekvenci 16MHz)
Paměť Flash/ EEPROM/ SRAM	128KB/ 4KB/ 4KB
Rozhraní pro programování čipu	ISP, JTAG
Časovače	2x8bit, 2x16bit, RTC
PWM	2x8bit (+6 kanálů s odvozenou frekvencí)
Komunikační rozhraní	2x UART, SPI
ADC	10bit, 8 kanálů
Počet pinů/ programovatelných pinů	64/ 53
Napájecí napětí	2,7–5,5V
Maximální proudové zatížení na pin	40mA
Maximální celkové proudové zatížení	200-400mA
Watchdog timer	ano

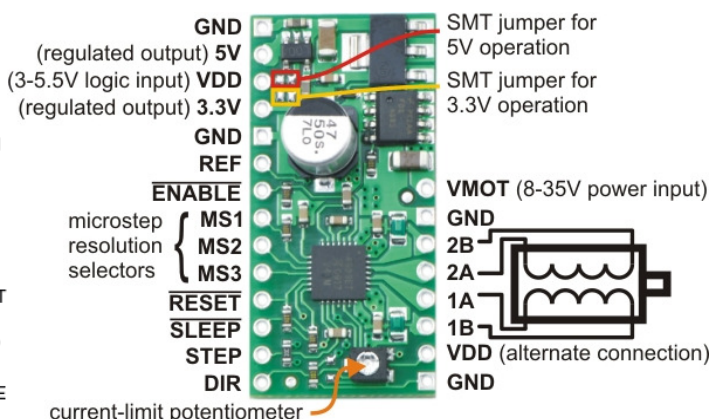
4.3.2 Modul Výkonová část

Základním elektronickým prvkem pro řízení krokových motorů je Full-Bridge (mostový budič, dále jen „Bridge“), který v sobě integruje spínací prvky zapojené tak, že je již na úrovni hardware zamezeno vzniku hazardních stavů (pokud bychom pro připojování cívek k napájecímu napětí použili klasická tranzistorová pole, museli bychom se postarat o vyloučení vzniku hazardů, abychom nezkratovali – i třeba jen krátkodobě – napájecí zdroj).

K dispozici jsou i hotové řadiče v podobě malých řídicích modulů, v některých případech jsou integrovány do jednoho pouzdra. Z hotových řadičů uveďme kupříkladu integrovaný obvod 5804 nebo modul A4983.

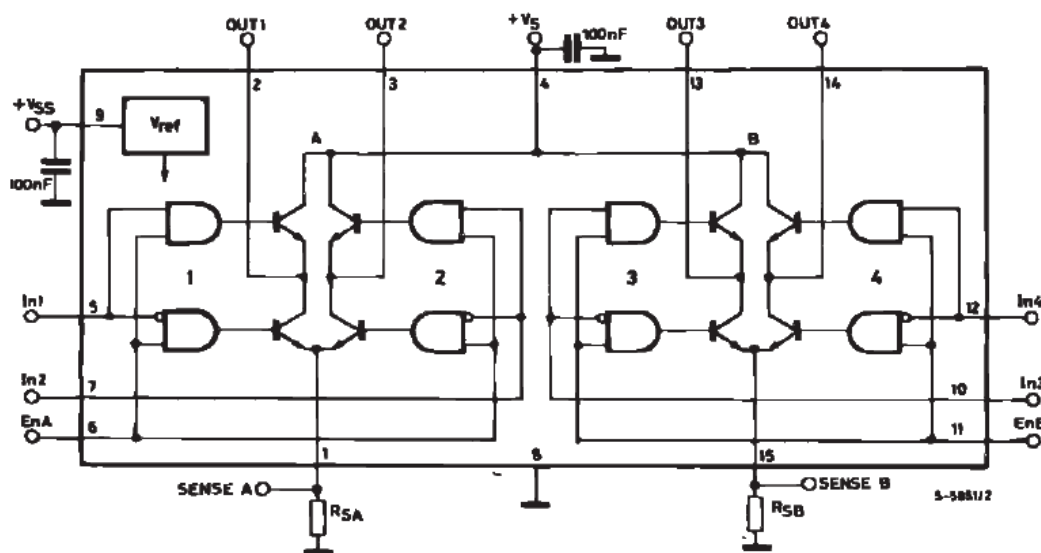


Obrázek 12: Řadič 5804 [5]



Obrázek 11: A4983 Stepper Motor Driver [6]

Jelikož bude celá elektronika řízena mikroprocesorem s dostatečným počtem vstupně/výstupních portů můžeme použít samotný Bridge, který budeme řídit přímo mikroprocesorem. Pro každý motor tu bude jeden Bridge. Z dostupné součástkové základny byl vybrán z uvedené kategorie obvod L298.



Obrázek 13: Vnitřní zapojení obvodu L298 [12]

Oddělení výkonové části od mikroprocesoru uvažováno není, protože by bylo zapotřebí příliš velkého množství oddělovacích členů. Od nadřazeného systému je elektronika oddělena jako celek.

Pro řízení krokových motorů byla zvolena realizace na nejnižší úrovni, a to pomocí mikrokontroléru a obvodu typu Bridge L298, který je jednak výkonovou součástkou a jednak obsahuje základní logiku zamezující vzniku hazardních stavů. Nevýhodou realizace je vyšší nárok na výpočetní čas mikrokontroléru, výhodou je možnost úprav řízení na nejnižší úrovni. Volba L298 se během procesu konzultací řešení stala požadavkem zadavatele.

4.3.3 Modul Senzorická část

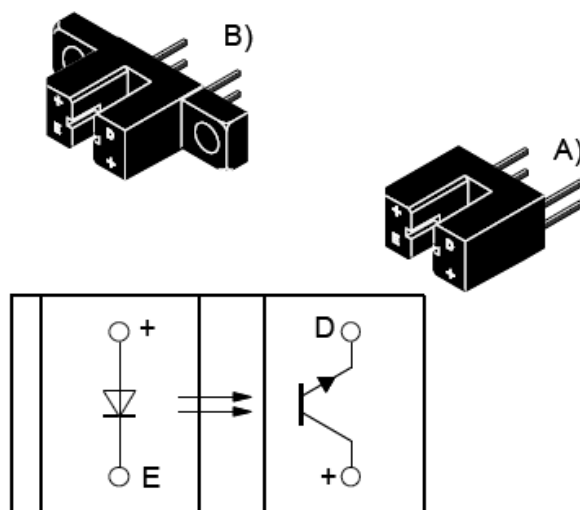
Kromě motorů je třeba zvolit vhodné vybavení 3D routeru polohovými čidly. Nebudeme sice měřit přesnou polohu v každé pozici, jelikož ta bude odvozena od počtu kroků motorů, ale musíme být schopni kalibrovat alespoň jednu výchozí polohu a musíme zamezit pohybu zařízení mimo povolený rozsah. K tomu nám poslouží koncové snímače.

Naší snahou je minimalizovat počet kontaktů a proto jsou preferována bezkontaktní čidla. I přes zúžení výběru na čidla bezkontaktní je nabídka typů čidel široká. Jednak jsou tu čidla optická (optické závory), čidla magnetická (obsahují Hallovu sondu a permanentní magnet) či snímače indukčnostní (oscilátorové).

Přikloníme se k použití snímačů optických pro jejich jednoduchost a spolehlivost. Vhodné bude čidlo v provedení U.



Obrázek 14: Optické závory [11]



Obrázek 15: Optická závora TCST1103 [8]

Čidlo bude pevně umístěno na koncích drah v každém směru a pohyblivá část na sobě ponese malou plastovou clonu. Jestliže clona přeruší paprsek optické závory, událost bude vyhodnocena řídicí elektronikou. Uvedené řešení s optickou závorou je velice časté, používá se např. v tiskárnách a scannerech.

Pro každý z dvou horizontálních směrů pohybu uvažujeme dvě optické závory, pro vertikální směr jednu (pouze indikace dosažení horní mezní polohy).

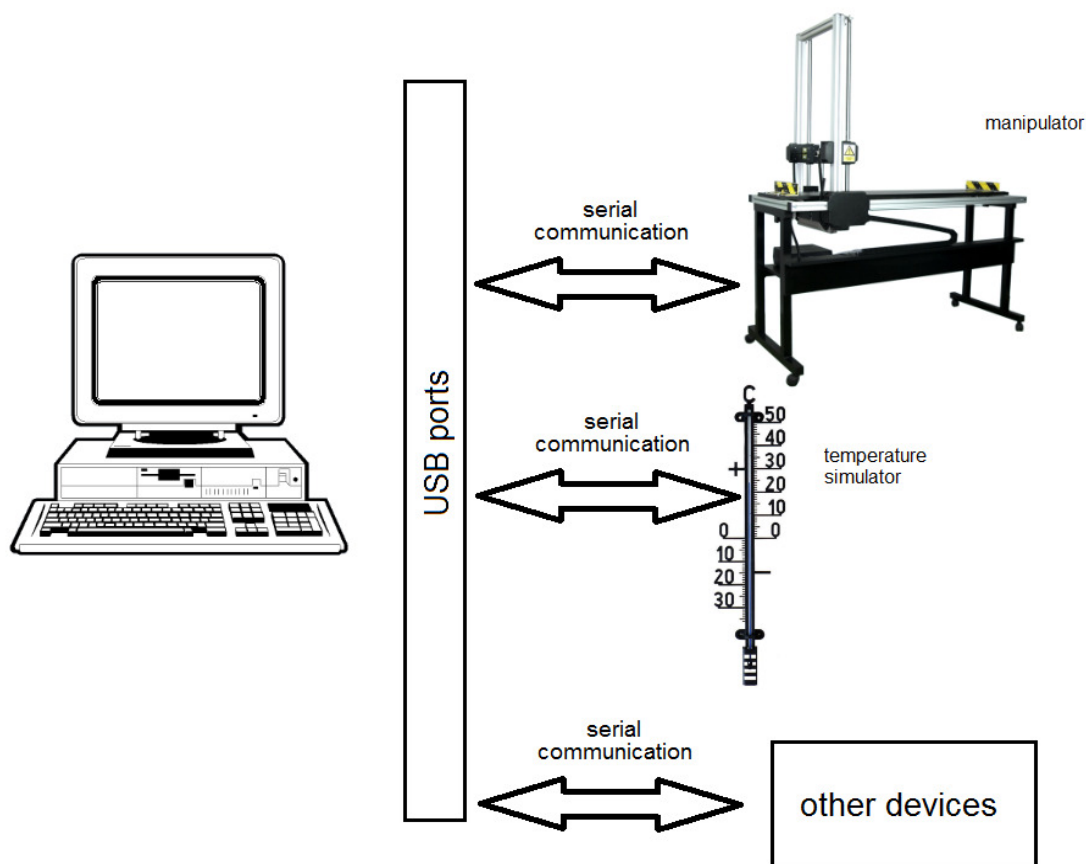
Na desce je nutno připravit elektroniku zajišťující napájení optických závor a vyhodnocování informací získaných ze senzorů.

4.3.4 Modul Manuální ovládání a signalizace

Na desce bude k dispozici několik tlačítek. Jednak je zde tlačítko „Stop“, které provede zablokování motorů (nezávisle na mikrokontroléru) a pozastavení řídicího programu. Další tlačítko nese označení „Set offset“, po jeho stisknutí bude nastavena aktuální pozice manipulátoru za počátek souřadné soustavy pro pohyb. Uživatel tak bude mít možnost zadávat relativní souřadnice, tj. souřadnice vztažené k nastavené relativní nulové pozici. Pro manuální najetí na požadovanou polohu bude k dispozici šest tlačítek (dvě tlačítka vpřed/vzad pro každou osu pohybu).

Pro indikaci stavu zařízení je vhodné řídicí desku vybavit prostředky pro optickou vizualizaci – tj. LED diodami. Indikován bude provoz (tj. zda je elektronika zapnuta), dále běh programu (zda je programová část v provozu), sériová komunikace (jednak sériové spojení s nadřazeným systémem a jednak tok dat). Mimo uvedené budou přidány rezervní LED pro indikaci dalších funkcí, jejichž stav bude vhodné sledovat.

4.3.5 Modul Elektronika pro sériovou komunikaci



Obrázek 16: Komunikace parciálních částí zařízení s nadřazeným PC [13][14][15]

Jak ukazuje Obrázek 15, manipulátor je pouze jednou částí celku testovacího systému, jednotlivé části jsou připojeny k nadřazenému PC pomocí rozhraní USB.

Zařízení komunikuje přes USB prostřednictvím virtuálního sériového portu. Komunikace typu UART probíhá prostřednictvím firemního komunikačního protokolu, přičemž fyzická a linková vrstva jsou standardizovány a vyšší vrstva je vytvořena s ohledem na dohodnutá pravidla. Samotný komunikační protokol je popsán níže.

Převod mezi RS232 a USB zajišťuje převodník CP2102. Strany řídicí desky a PC jsou striktně odděleny, pro galvanické oddělení je použit kapacitní oddělovací člen.

4.3.6 Modul Napájení

Motory budou napájeny ze zdroje napětí 9-24V. Maximální (krátkodobý) proud motorem je 1A. Pro napájení výkonové části proto bude použit průmyslový spínaný zdroj napětí 9V a maximálním proudem 5A.

Napětí pro logickou část (potažmo všechny ostatní části) bude 5V. Uvedené napětí bude odvozeno od napájení výkonové části s využitím DC/DC měniče. Napětím 5V bude napájena celá deska s výjimkou převodníku USB/RS232, který je napájen z USB a od zbytku desky galvanicky oddělen.

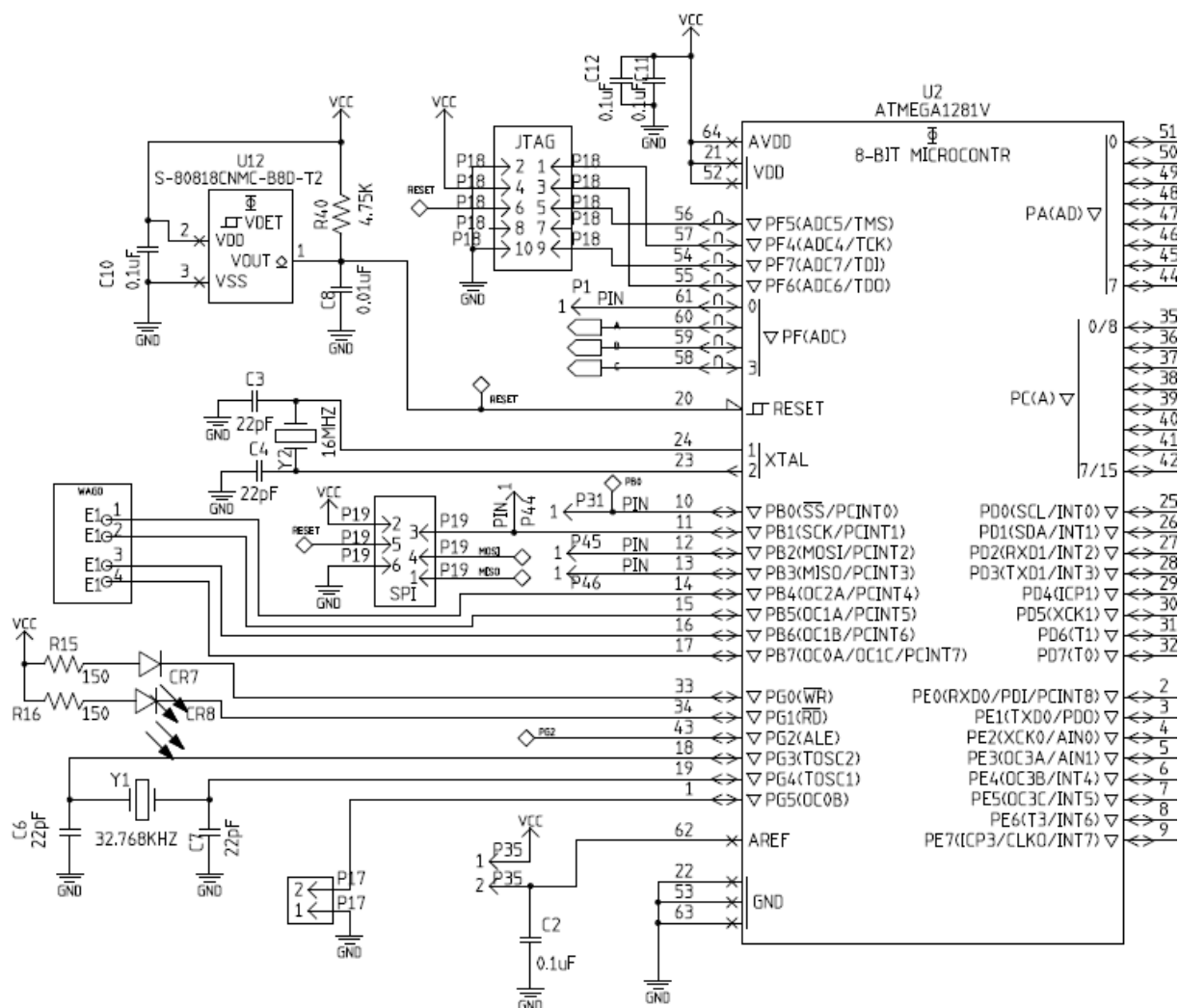
Pro výkonovou část bylo uvažováno proudové omezení, ale jako lepší řešení se jeví sledování proudů na motorech přímo z mikrokontroléru. Opatřením proti zkratu by měl být předřazený jistič. Ochranu motorů proti případnému dlouhodobému přetížení můžeme realizovat tavnými pojistkami zabudovanými v napájecím kabelu motoru.

5 NÁVRH ŘÍDICÍ ELEKTRONIKY

Realizace řídicí desky kopíruje teoretický popis z předchozí kapitoly. Ústředním členem je mikrokontrolér, který zajišťuje prakticky veškeré operace řízení, ovládání a komunikace s nadřazeným systémem, zajišťuje tak veškeré logické operace v širším slova smyslu.

Kompletní elektronické schéma návrhu je přiloženo k práci jako „Příloha 1“. Jelikož se jedná o velký formát, není možné vložit schéma přímo do práce, v následujících podkapitolách budou komentovány jednotlivé části elektroniky (v rámci popisu jednotlivých částí budou do textu vkládány části schématu, v případě že jsou hodnoty špatně čitelné, použijte přílohu).

5.1 Obvody mikrokontroléru



Obrázek 17: Schéma řídicí desky – ústřední část

Zdroj systémových hodin pro mikrokontrolér je volen jako externí. Mezi piny XTAL1 a XTAL2 je připojen 16MHz krystal Y2. Volbu zdroje hodin je nutno nastavit prostřednictvím ISP z AVR Studia (dodávaná součástka má hodiny odvozeny od interního RC oscilátoru s nastaveného na pracovní frekvenci 1MHz)

Zpoždovací člen pro reset při připojení napájecího napětí byl převzat ze zapojení univerzální testovací desky.

Pro programování a ladění software je zde k dispozici rozhraní JTAG, které je na mikrokontroléru vyvedeno na 4-7 pin brány F. Pro připojení konektoru programátoru využívajícího rozhraní JTAG je na desce připravena patice.

Ostatní piny brány F jsou použity jako vstupy A/D převodníku, PF1-PF3 lze pomocí zkratovací spojky připojit k obvodu měření proudu na motorech. PF0 je volný.

Na desce je také připravena patice pro připojení programátoru ISP, využity jsou piny PB1, PE0 a PE1. Pin B0 slouží k resetování příznaku ENABLE výkonových obvodů. Ostatní piny brány B jsou volné, připravené k univerzálnímu použití, PB2 a PB3 jsou vyvedeny na pin, P4-P7 na svorku WAGO.

Ačkoli většina signalizačních LED diod je připojena přes budič (aby nebyl mikrokontrolér zbytečně proudově zatěžován) na piny PG0 a PG1 jsou LED diody (CR7 a CR8) připojeny přímo. Proud jednou diodou nepřekročí 20mA, tedy ani polovinu maximálního proudového zatížení mikrokontroléru na pin (max. proudové zatížení 40mA/pin; celkové zatížení mikrokontroléru je max. 200mA). Hodnota předřadného odporu je stejná jako u CR9-CR12. Výpočet je uveden níže u popisu CR9-CR12.

Pin PG2 je přiveden na vstup čítače který slouží jako dělička hodnotou 8. Po vygenerování osmi impulzů je příznak ENABLE vystaven na hodnotu logické pravdy. (V příští verzi realizace desky by měl být obvod rozšířen o možnost nastavení příznaků ENABLE pro jednotlivé řadiče zvlášť.)

Mezi PG3 a PG4 je připojen krystal Y1, který je použit pro časování operačního systému (pracovní frekvence: 32kHz). Řešení by bylo možné i bez použití tohoto druhého krystalu (jelikož nepoužíváme režim spánku), ale na firemní testovací desce byl krystal přítomen a využit, proto v rámci zachování hotového kódu jej na desce ponecháme.

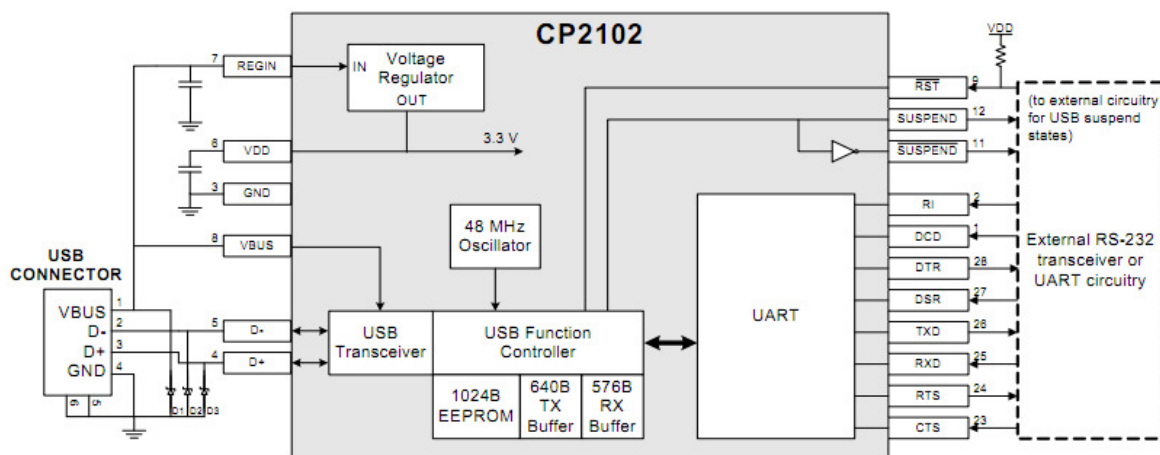
PEN/PG5 je možno přizemnit pomocí zkratovací spojky. U varianty mikrokontroléru ATmega128a má pin funkci PEN (pin musí být přizemněn při ISP programování, během normálního běhu nemá žádnou funkci). PG5 je defaultně nastaven jako vstup, proto jeho případné přizemnění nemůže způsobit kolizi.

Pin AREF je vstup pro referenční napětí A/D převodníku. Přes zkratovací spojku je možné připojit pin na napájecí napětí 5V. Pokud spojka použita není, je buď možno přivést externí referenci nebo využít vnitřní referenci 2.56V či 1.10V. Dle doporučení manuálu ATmega128a [19] je AREF připojen na zem přes kondenzátor 100nF.

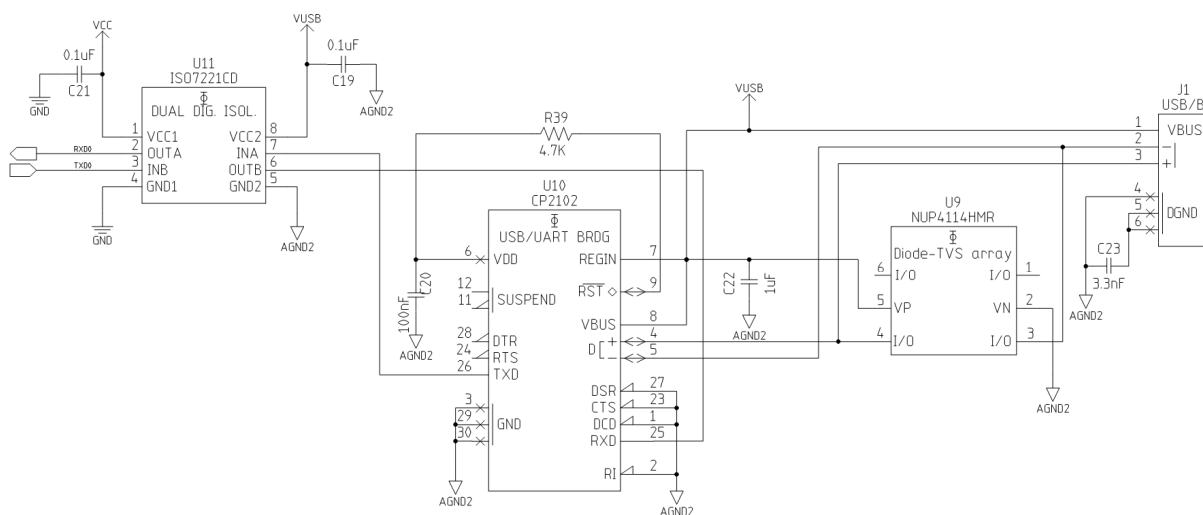
Hodnoty kapacit u krystalů vychází z doporučení výrobce (viz manuálové stránky) a kapacity u napájecích konektorů vychází ze zapojení firemní testovací desky (uvedené hodnoty jsou běžně používané).

5.2 Komunikace prostřednictvím rozhraní typu UART

Mikrokontrolér má k dispozici dvě sériová rozhraní UART0 a UART1. Rozhraní UART1 je přes galvanické oddělení (součástíku ISO7221 vyráběnou Texas Instruments) připojeno na převodník USB/RS232 CP2102 a je využito ke komunikaci s nadřazeným systémem. Celé zapojení převodníku je převzato, ve firmě je ustálené. Diodové pole NUP4114 je přídatnou ochranou obvodu, ale v praxi se na desce neosazuje (absence součástky nemá na běžnou funkci vliv).



Obrázek 18: Převodník USB/RS232 CP2102 [18]

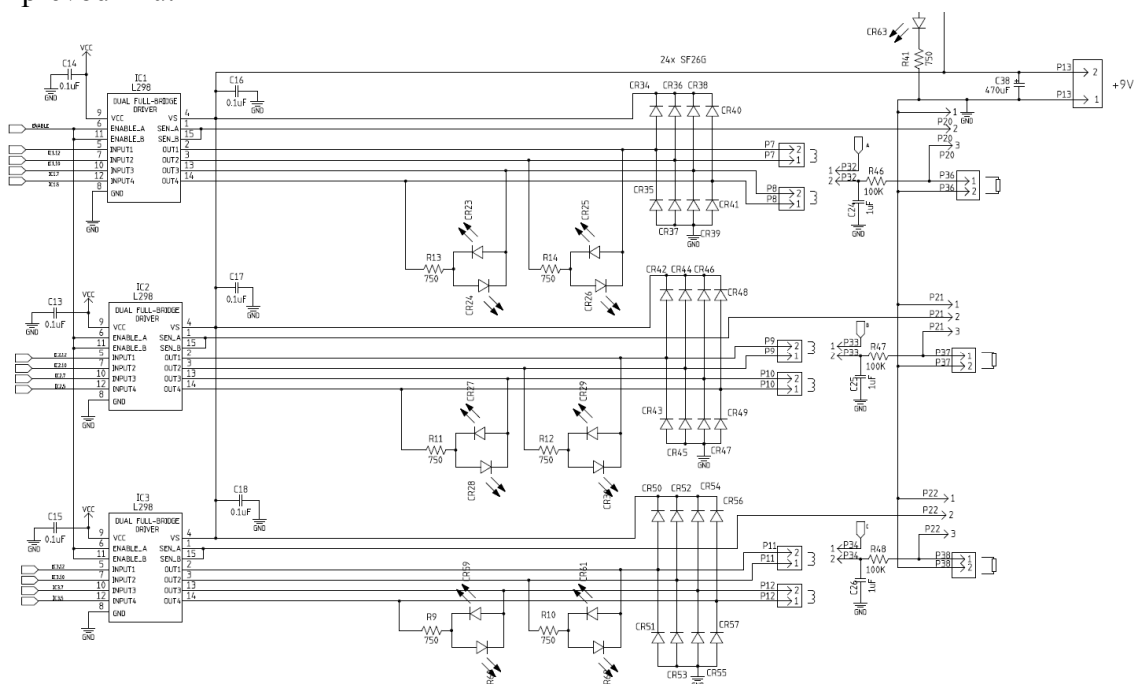


Obrázek 19: Schéma řídicí desky – komunikace přes UART

Druhé sériové rozhraní je vyvedeno na konektor WAGO. Připojení je provedeno tak, aby bylo možné jednoduše připojit externí (ve firmě používaný komerční) modul pro převod napěťových úrovní mezi mikrokontrolérem a rozhraním RS232. Druhý sériový port zatím není používán, je však k dispozici, pro případ, že by se pro něj

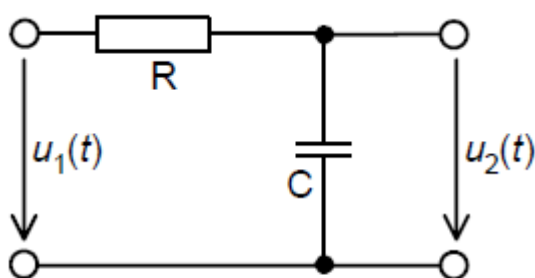
5.3 Výkonová část – řadiče motorů

Pomocí konektorů P20, P21 a P22 je možno přemostit sériový odpor napájení motorů (Pozor! Pro přemostění je nutno použít drátové propojky, nikoli klasické „jumpéry“!). Sériový odpor je připojen na svorky svorkovnice P36 resp. P37 resp. P38 a umožňuje měřit proud motorem (měříme úbytek napětí na odporu), a také snižuje ustálený proud motorem. Připojované odpory jsou v řádech desetin až jednotek ohmů a musí být výkonově přizpůsobeny. Úbytek na odporu je přiveden přes filtr na vstupy A/D převodníku.



Obrázek 20: Schéma řídicí desky – řízení krokových motorů

Filtr má charakter dolní propusti a je navržen tak, abychom měřili střední hodnotu proudu. V důsledku skutečnosti, že na motoru se objevují skoky napětí, i proud má v zásadě pulzní charakter (i když ne pravoúhlý, jelikož motor je jakožto RL článek sám dolnoproputním filtrem proudu). Chceme-li získat střední hodnotu proudu resp. napětí na bočníku, aproximujeme pulzy první harmonickou složkou signálu a časovou konstantu filtru zvolíme tak, aby frekvence první harmonické složky byla potlačena. Hodnoty byly stanoveny na $R=100\text{k}\Omega$ $C=1\mu\text{F}$, což odpovídá časové konstantě filtru 0,1s. Velikost časové konstanty byla stanovena empiricky s využitím osciloskopu.



$$\tau = RC = \frac{1}{\omega_h} = \frac{1}{2\pi f_h} \quad (1)$$

Obrázek 21: Pasivní RC článek, dolní propust 1. řádu [2]

Všimněme si ještě diod CR34-CR57, jedná se o členy pro odvedení vypínacích proudů. Každá cívka motoru je indukčností, a při odpojení napájení se na cínce objeví vypínací napětí, diody slouží k jeho zkratování a odvedení vypínacího proudu. Katalogový list uvádí požadavky na diody následující: diody mají být dimenzovány na proud 2A a zpoždění diody nepřekračující 200ns [16]. Vhodnou diodou např. US2D SMD ($I_f=2\text{A}$, $t_{rr}=50\text{ns}$) nebo SF26G ($I_f=2\text{A}$, $t_{rr}=35\text{ns}$).

Pro vizualizaci stavu řadičů motorů jsou připojeny mezi napájecí svorky motorů LED diody, které signalizují, že je patřičná cívka pod napětím. Během otáčení motoru tedy LED diody střídavě blikají. V případě že by motor zůstal pod napětím, zpozorujeme trvale svítící LED diody. Pokud by se stalo blikání nepříjemným, stačí z řídicí desky odpájet předřazené odpory a LED diody tak odpojit. Uvedené zapojení s LED diodami bylo inspirováno dle schématu uvedeného ve zdroji [20].

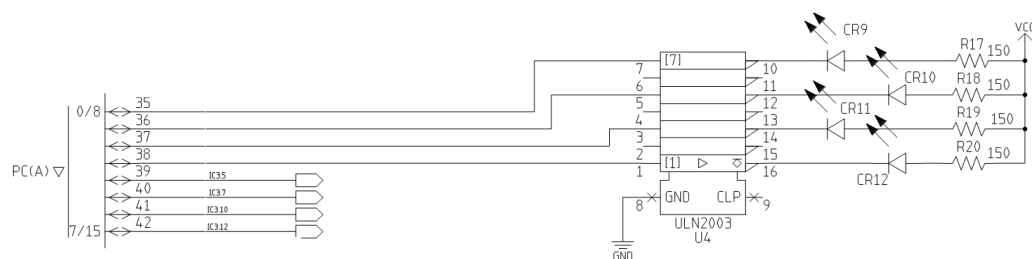
LED diody jsou vybrány ve variantě SMD 1206 s max. pracovním proudem 30mA. Uvažujeme-li maximální napájecí napětí motorů 24V a maximální dovolený proud LED diodou, snadno určíme hodnotu předřadného odporu:

$$R = \frac{U - U_p}{I_{\max}} = \frac{24 - 2}{0,03} = 733,3\Omega \quad (2)$$

Dioda je stavěna na max. proud 30mA, špičkově 60mA. Zvolíme nejbližší vyšší hodnotu odporu, tedy hodnotu 750Ω. Ještě uvažme nejnižší napájecí napětí 9V, proud diodou v takovém případě bude 12mA, což pro rozsvícení LED diody zcela stačí.

Tlačítka SW1-SW6 sloužící pro manuální pohyb ve všech třech osách jsou připojena na piny I/O-brány D. SW7 bude plnit funkci nastavení manuálního vynucení kalibrace souřadného systému os, SW8 pak slouží jako „STOP“. Signál z tlačítka SW8 je přiveden jednak na vstup procesoru, jednak je nezávisle na procesoru resetován logický obvod a jsou tak blokovány všechny obvody L298 (motory jsou odpojeny od napájecího napětí).

Na pinech PC0-PC3 jsou připojeny přes budič LED diody, odpory jsou voleny tak, aby diodami protékal v sepnutém stavu proud 20mA (odpovídající plnému svitu použité LED diody).



Obrázek 23: Schéma řídicí desky – signalizační LED diody

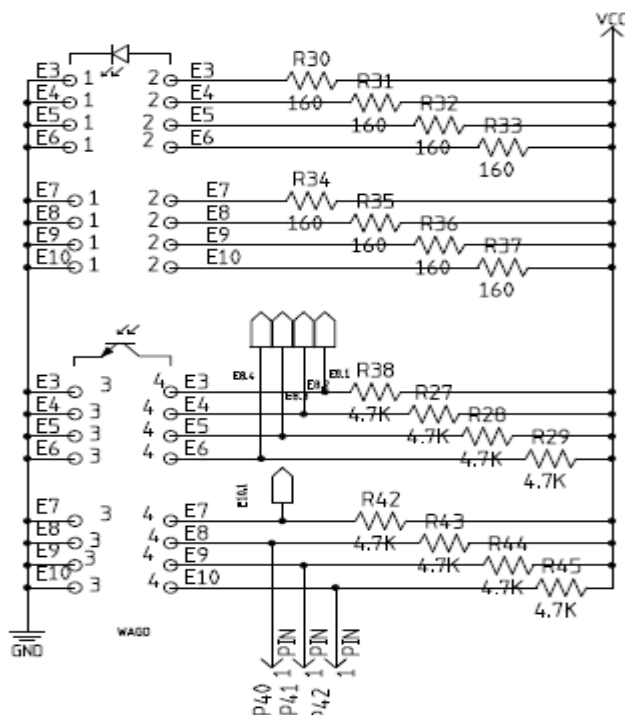
Výpočet hodnoty odporů pro LED diody CR9-CR12 resp. CR7 a CR8 (viz výše):

$$R = \frac{U - U_p}{I_{\max}} = \frac{5 - 2}{0,02} = 150\Omega \quad (3)$$

Zvolíme tedy rezistor z řady E24 o hodnotě 150Ω; docílíme tak, že LED diodami bude protékat požadovaný proud 20mA.

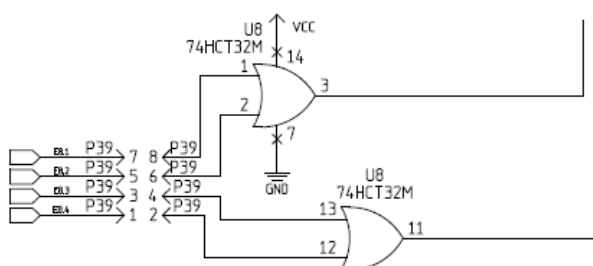
5.5 Připojení koncových snímačů

Snímače koncových poloh jsou optické závory ve tvaru písmene U a byly popsány v kapitolách teoretického úvodu. Pro napájení snímačů jsou na desce připraveny svorky E3-E10.



Obrázek 24: Schéma řídicí desky – Svorky pro připojení optických závor

Každá svorka je připravena pro připojení jedné závory. V aplikaci využíváme 5 koncových snímačů, na desce jsou ještě 3 rezervní volné svorky E8-E10. Na první a druhý vstup svorky je připojena LED dioda (tj. napájení) optické závory a mezi třetí a čtvrtý vstup fototranzistor (tj. výstup) optické závory. Hodnoty napětí na fototranzistoru jsou přivedeny na vstupy mikrokontroléru s funkcí přerušení od externího signálu. Protože pinů s funkcí externího přerušení není nadbytek, pro obě horizontální osy je použit vždy pouze jeden vstup procesoru (tj. jeden pro osu X a jeden pro osu Y), jelikož aktivní může být vždy jen jeden snímač (tj. zařízení může být nejvýše v jedné z krajních poloh). Proto jsou přivedené signály z obou snímačů v jedné ose sečteny na logickém hradle.



Obrázek 25: Realizace součtu signálů z optických závor

Hodnoty odporů R30-R30 na napájecí straně jsou vypočítány následovně: Katalogové listy uvádějí pracovní rozsah napájecí strany max. 60mA, standardně méně do 20mA, na základě empirických poznatků byla hodnota proudu stanovena na 2,5mA. Úbytek na diodě je 1,7V. Napájecí napětí logické části desky je 5V

$$R = \frac{U - U_p}{I_{\max}} = \frac{5 - 1,7}{0,003} = 1100\Omega \quad (4)$$

Zvolíme hodnotu 1K10Ω nebo 1K20Ω z řady E24.

Rovněž na výstupní části optické závory je potřeba připojit vhodný odpor tak, abychom vhodně nastavili pracovní bod fototranzistoru. Hodnota odporu vychází z empirického vzorce uvedeného v manuálních stránkách k optické závoře [5].

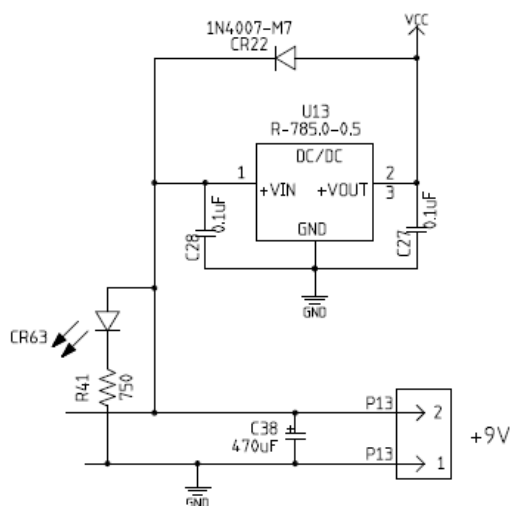
$$R_L = \frac{75}{I_F} = \frac{75}{0,02} = 4250\Omega \quad (5)$$

Kde je: R_L – hodnota zátěžového odporu [Ω]
 I_F – pracovní proud diodou optické závory [V]

Zvolili jsme blízkou hodnotu $4,7k\Omega$, pracovní bod bude položen níže, ale funkčnost zůstane zachována. Ustálený proud v sepnutém stavu tranzistoru bude 1mA.

5.6 Napájení řídicí desky

Řídicí deska obsahuje výkonové obvody a obvody logické části, je proto zapotřebí více hodnot napájecího napětí. Napětí zdroje připojeného na vstupní svorky desky může být voleno v rozmezí 9 – 24V. Připojené napětí bude použit (bez dalších úprav) pro napájení výkonové části (tj. pro řízení motorů). Dalším funkčním celkem na desce je DC/DC měnič, pomocí něhož je odvozeno napájecí napětí Vcc (5V) pro logickou část elektroniky (s napětím 5V pracuje veškerá logika desky). Zapojení vychází z manuálových stránek [21].



Obrázek 26: Schéma řídicí desky – napájení

Zvolený DC/DC měnič je v podstatě spínaný stabilizátor, ale nerealizuje napěťové oddělení, což není na závadu, jelikož řadiče motorů L298 mají stejně společnou zem (oddělení by nemělo efekt). Zvolený měnič dovoluje vstupní napětí 6,5 – 34V a minimální účinnost je 94%. Maximální dodávaný proud je 500mA, což je plně postačující.

Uveďme pro přehled proudový odběr logické části elektroniky.

Součástka	Max. proudový odběr [mA]	počet	Max. odběr celkem [mA]
ATMEGA128A [19]	19	1	19
L298 [12]	36	3	108
ULN2003 [24]	1,35	1	1,35
Obvody řady 74HC00 [25]	50	3	150
LED diody	20	6	120
Optické závory závor	4	5	20
ISO7221 [26]	22	1	22
CP2102	Napájen z USB		
Celkem:			442

Proud dodávaný DC/DC měničem ($I_{\max}=500\text{mA}$) je dostatečný i v případě, že bychom brali v úvahu maximální možné hodnoty proudového odběru. Pracovní hodnoty proudu jsou však nižší a standardně nepřekročí hodnotu 300mA. Pro případ dalšího rozšíření elektroniky by však mohlo být třeba dimenzovat zdroj na vyšší výkon, pak lze doporučit DC/DC měnič R-78B5.0-1.0 ($I_{\max}=1\text{A}$) od stejného výrobce, nebo jiný spínaný stabilizátor např. LM2575HVT-5, $I_{\max}=1\text{A}$ nebo LM2576T-ADJ, $I_{\max}=3\text{A}$.

Na vstupu řídicí desky je dále umístěna LED dioda signalizující připojení desky k napájecímu zdroji. Hodnota předřadného odporu u LED diody CR63 je stejná jako u LED diod CR23-CR30 a CR59-CR63, tj. 750Ω . V současnosti je pro napájení desky používán laboratorní zdroj, který bude nahrazen spínaným zdrojem PS-100-12 ($U=12\text{V}$, $I_{\max}=8,5\text{A}$). (Pozn.: maximální proud motorem je 1,5A, tj. maximální odběr desky nepřesáhne 5A).

Zdroj bude vybaven na výstupu jističem či pojistkou pro ochranu proti zkratu. Jednotlivé motory nejsou chráněny přímo (v navržené variantě desky není uvažováno proudové omezení, motory budou chráněny speciálními pojistkami na napájecích kabelech; riziko nedovolených proudů nastává pouze v případě použití vyššího napájecího napětí než 9V a to při malých kmitočtech na vstupech motoru – viz specifikace konkrétního motoru).

6 ŘÍDICÍ PROGRAM PRO MANIPULÁTOR

Pozn.: V následující kapitole je stručně popsána funkčnost programové části, detailnější popis naprogramovaných funkcí je přiložen jako „Příloha 4“, rovněž je v elektronické verzi přiložen zdrojový kód programu včetně komentářů.

Programová realizace řízení manipulátoru je provedena s ohledem na možnost následné integrace do komplexního systému testování termostatů. Manipulátor je připojen k nadřazenému počítači, komunikace je realizována pomocí virtuálního sériového portu prostřednictvím linky USB. Programová realizace vyššího řízení ze strany PC není předmětem této diplomové práce, je vyvíjena samostatně jinými osobami a úkolem programového vybavení řídicí elektroniky manipulátoru je mimo jiné přizpůsobit se nadřazenému systému (jedná se zejména o záležitost komunikace, uvedenou problematikou se bude zabývat samostatná kapitola).

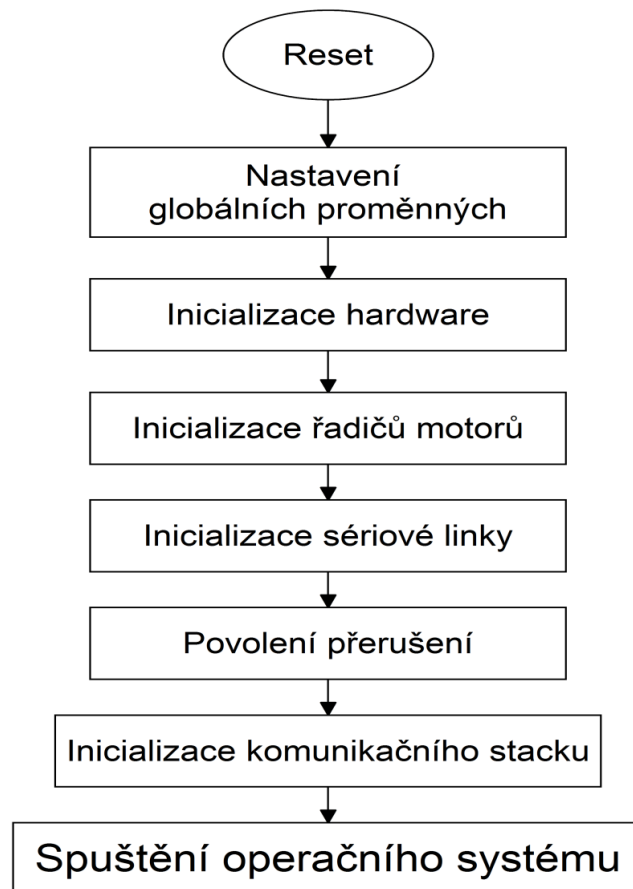
Na straně manipulátoru je třeba zajistit odpovídající funkčnost zařízení, kterou můžeme pomyslně rozdělit do dvou úrovní:

1. Nižší úroveň
 - Řízení motorů
 - Optimalizace rozjezdů a dojezdů (optimalizace pohybů motorů)
 - Obsluha přerušení od koncových snímačů a vybraných tlačítek
 - Obsluha přerušení od sériové linky a komunikace na nižší úrovni
2. Vyšší úroveň
 - Komunikace s nadřazeným systémem
 - Nastavení požadované polohy zařízení
 - Kalibrace polohy
 - Signalizace, obsluha tlačítek

Funkce nižší úrovně jsou spouštěny zpravidla v rámci přerušení (od časovačů, vstupů, sériové linky) a ve většině případů jsou v rámci přerušení také obslouženy. V hlavní programové smyčce běží (po prvotní instalaci) jednoduchý operační systém, který zajišťuje plánování úloh z druhé skupiny. Uvedené funkce jsou složitější a časově náročnější na zpracování, naproti tomu jsou u nich kladeny nižší požadavky na rychlost obsluhy.

Jednotlivé funkční celky budou přiblíženy v následujících podkapitolách, přiložená schémata budou představovat zjednodušené vývojové diagramy jednotlivých funkcí pro možnost lepší představy o funkčnosti.

6.1 Inicializace systému



Obrázek 27: Vývojový diagram inicializace systému

Hlavní funkce *main* obsahuje pouze potřebné inicializace před spuštěním operačního systému. V části *Inicializace hardware* probíhají nastavení jednotlivých periférií mikrokontroléru a je provedeno mapování vstupů a výstupů na příslušné piny. Následně je volána funkce pro inicializaci řadičů motorů – řadiče jsou nastaveny do výchozího stavu.

Dále je inicializováno zařízení UART. Poté jsou povolena přerušení, tudíž od této chvíle mohou být volány funkce spouštěné od přerušení, následuje inicializace komunikačního stacku.

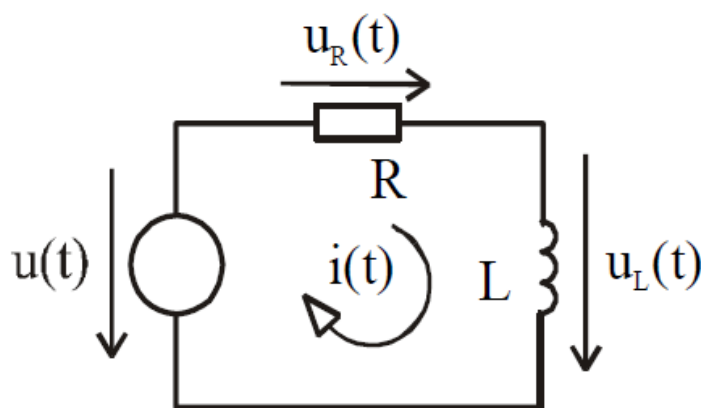
Na závěr je spuštěn „operační systém“, který není OS v pravém slova smyslu, jedná se pouze o plánovač tvořený sadou knihovnických funkcí. Ačkoli je pojem „operační systém“ lehce zavádějící, na oddělení firmy je používán. Výhodou nasazení plánovače je především možnost lepší správy procesoru, plánovač spouští naplánované úlohy a v klidovém stavu uvádí mikrokontrolér do režimu spánku (z něhož jej cyklicky budí po předem definované době). Použitý produkt není veřejný (ve zdrojovém kódu uvádím pouze hlavičkový soubor), nicméně konkrétní implementací jsem se sám zabýval také pouze zběžně. Z funkcí OS je využito pouze základní plánování úloh, a to jednorázově i cyklicky spouštěných.

6.2 Řízení motorů a optimalizace pohybů

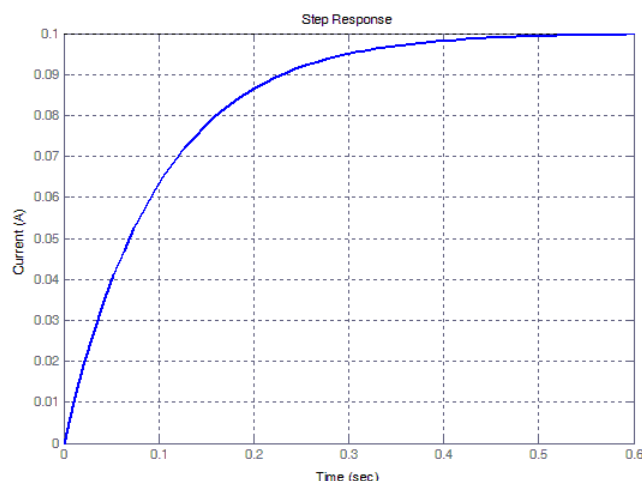
Pro základní funkci řadičů motorů je rozhodující správná posloupnost kombinací signálů, představujících dílčí kroky motorů. Pro správnou funkčnost je však třeba zajistit i vhodné časování kroků resp. dobu jejich trvání. Jelikož rychlost pohybů motorů potažmo celého manipulátoru rozhodujícím způsobem ovlivňuje dobu trvání testů, které bude zařízení realizovat, požadujeme, aby rychlost pohybů byla co nejvyšší a co nejpresnější. Jedná se v zásadě o protichůdné požadavky a naším úkolem je zvolit maximální rychlost, při níž ještě nehrozí ztráta kroků (v důsledku přetížení motoru). Protože jsou v aplikaci použity krokové motory, nemůžeme si dovolit pohony přetěžovat, jinak by mohlo dojít k ztrátě kroků a údaj o poloze by se stal nepřesným, v horším případě zcela chybným. Rychlejší pohyby mechanických částí předpokládají větší síly (především ve fázi rozjezdu, což ostatně vyplývá z druhého Newtonova zákona), to znamená větší momentové zatížení motorů. Pozvolný rozběh motorů je proto velice vhodný, a to hned ze dvou důvodů:

1. Pozvolné najíždění na požadované otáčky představuje menší zrychlení systému a tudíž menší potřebnou sílu.
2. Krokové motory jsou synchronními motory a svou povahou (jako i ostatní motory) představují indukční zátěž. Na cívky krokového motoru je přiváděno stejnosměrné napětí konstantní velikosti, vzhledem k indukční povaze cívek je však nárůst proudu (cívkou motoru) popsán charakterem setrvačného članku prvního řádu, tj. nárůst proudu je exponenciální s časovou konstantou určenou parametry motoru.

Každou cívku motoru připínanou na zdroj napětí (viz kapitola 4.2) si můžeme znázornit jako RL-článek, který se chová jako filtr (dolní propust) proudu.



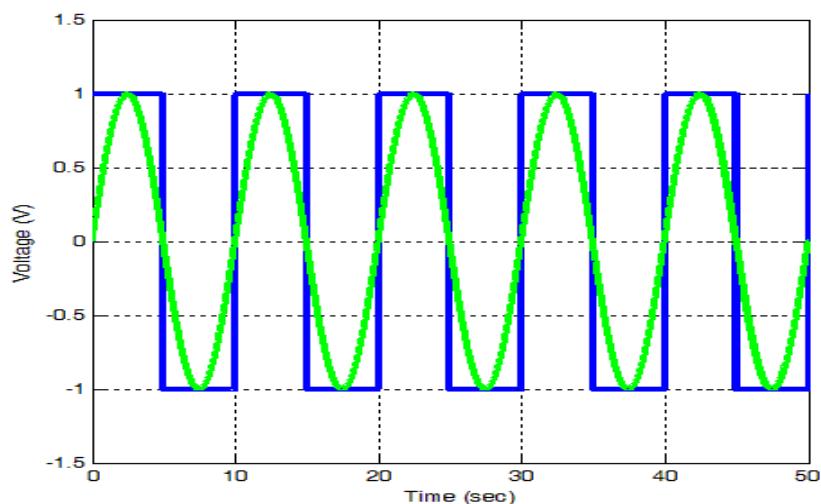
Obrázek 28: RL článek [3]



Obrázek 29: Proudová odezva na jednotkový skok napětí

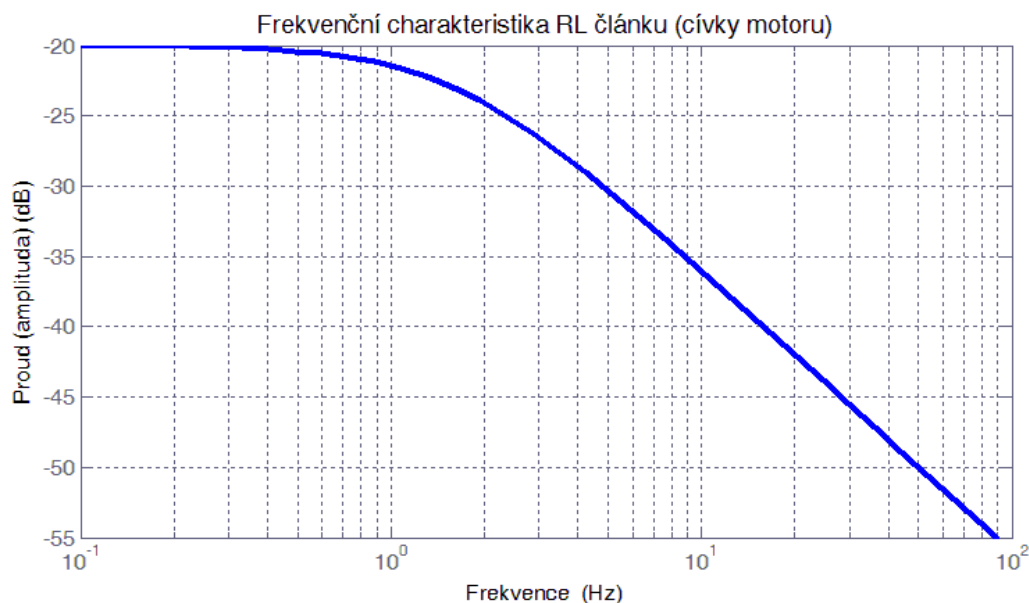
Hodnoty grafu odpovídají vlastnostem použitého motoru, kde ohmický odpor (jedné) cívky motoru činí 10 Ohmů a indukčnost 10 mH (uvedené hodnoty jsou uvedeny v dokumentaci použitých motorů, uvedená tolerance činí 10%). Motor obsahuje dvě vinutí se shodnými parametry.

Uvažme obdélníkový charakter vstupního signálu (tj. napětí přiloženého na cívku motoru). Nahradíme-li vstupní signál jeho první harmonickou složkou, můžeme vlastnosti vyšetřovat ve frekvenční oblasti (ostatně aproximací první harmonickou se nedopouštíme zásadní chyby, neboť vyšší složky jsou dolnoproústním charakterem zátěže stejně filtrovány).



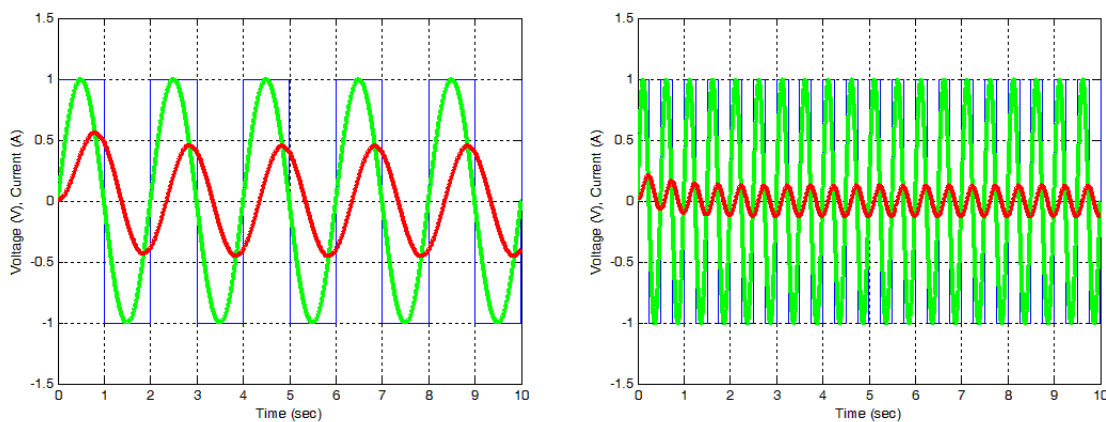
Obrázek 30: Obdélníkový signál a jeho aproximace první harmonickou složkou

Z frekvenční charakteristiky cívky je patrné, že pracovní frekvence je omezená.



Obrázek 31: Frekvenční charakteristika cívky motoru

Pro představu uvedme dvě simulace na modelu pro různé frekvence.



**Obrázek 32: Průběh napětí na jedné cívce motoru pro dvě různé frekvence
a) 0,5Hz b) 2Hz**

Oproti skutečné cívce byly pro lepší názornost hodnoty proudu v grafech 10x zesíleny. Uvedené průběhy na cívkách by platily pro dvoufázové řízení s celým krokem. U řízení s polovičním krokem mají průběhy odlišnou střidu, ale chování je podobné. S narůstající frekvencí klesají hodnoty proudu cívkami motoru, a proto klesá i krouticí moment, který je proudu přímo úměrný.

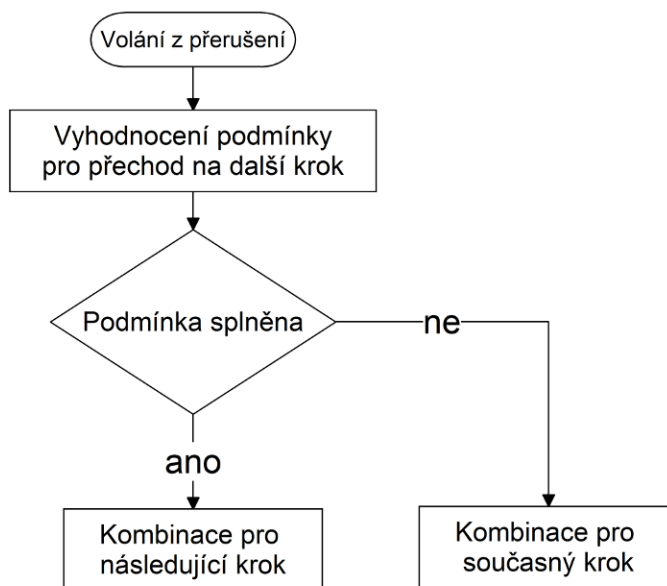
6.2.1 Generování signálů pro buzení motorů

Funkce pro ovládání motoru je programovou realizací bipolárního řízení krokových motorů po „půlkrocích“ (viz tabulka „Bipolární řízení s polovičním krokem“), čímž dosahujeme vyšší přesnosti ve srovnání s ostatními variantami. Cyklicky nastavujeme na výstupu popsanou posloupnost osmi kombinací. Řídicí signály jsou z výstupních pinů mikrokontroléru přivedeny na výkonový stupeň elektroniky (řadiče motorů typu „Full Bridge“ popsaných v kapitole 4.3).

Funkce realizující řízení motorů je volána a obsluhována v rámci přerušení od časovače (vyhrazeného pro uvedenou funkci). Obsluha v rámci přerušení je možná, jelikož je vykonáván poměrně krátký a časově nenáročný kód.

Pozvolný rozběh motorů je možno realizovat vícero způsoby. Jednak by bylo možné měnit dobu běhu časovačů, ale zasahování do časování je složitější variantou. V naší aplikaci byla zvolena jednodušší varianta, kdy vynecháváme volání funkce pro změnu kroku v rámci přerušení. Pro realizaci je pak použitelná pevně stanovená doba časování, a funkce zajišťující obsluhu již sama vyhodnotí, zda dojde k přechodu na další krok či nikoli.

Uveďme jednoduché schéma obsluhy pro jeden motor:



Obrázek 33: Základní schéma funkce pro řízení motorů

Obrázek představuje zjednodušený vývojový diagram funkce řízení pro jeden motor. V rámci přerušení je funkce volána pro každý motor zvlášť. V globální proměnné je udržován počet předchozích volání od poslední realizace změny kroku, tj. počet cyklů, v nichž neproběhla změna. Zároveň je udržována informace o celkovém počtu kroků od rozjezdu, délce požadovaného úseku, který má motor urazit, směru pohybu a další přednastavené konstanty určující tvar a délku rozjezdu. Na základě těchto informací je

vyhodnoceno, zda v aktuálním kroku dojde ke změně výstupní kombinace pro patřičný řadič motoru či nikoli. Pokud je podmínka pro změnu kombinace splněna, dojde k změně výstupní kombinace, tj. výstupy jsou aktualizovány. Pokud podmínka splněna není, zůstává v platnosti předchozí kombinace pro vstup řadiče – fyzicky nedojde k žádné změně, hodnoty výstupů jsou ponechány na současných hodnotách.

Pozvolný rozběh motoru zaručuje zvýšení efektivity pohybů, jelikož v počátečních (a koncových) fázích realizuje pomalé pohyby, kdy krouticí moment vyvinutý motory je značně vyšší, čímž zamezíme přetížení motorů a ztrátě pulzů. Na druhou stranu si můžeme dovolit zvýšit rychlosti, neboť zrychlujeme pozvolna a mechanický systém neklade tak vysoký odpor.

Nárůst rychlosti není lineární, jednak proto, že realizace lineární závislosti rychlosti na čase by byla programově mnohem složitější než zvolená nelineární varianta, jednak proto, že i v praxi se nelineární funkční průběhy nárůstu rychlosti používají. [Například u výtahů se používá náběh rychlosti ve tvaru písmene S. V prvotní fázi je zrychlení malé a moment velký pro uvedení systému do pohybu, dále zrychlení narůstá a následně je snižováno, aby náběh plynule přešel v konstantní otáčky. Je to odůvodněno zřejmě i požadavkem na plynulost zrychlení (prudké změna tíhového zrychlení není osobám příjemná).]

Způsob rozběhu v této aplikaci je ještě o stupeň jednodušší, jedná se o náběh hyperbolického průběhu. Nejedná se sice o nejvýhodnější řešení z pohledu tvaru, ale velkou výhodou je snadná programová realizace, jelikož pouze opoždíme změnu výstupního signálu o celočíselný násobek periody časování. Např. uvážíme-li 5 stupňů, tak v první fázi je změna kroku provedena jednou za 5 cyklů časovače, následně za 4 cykly, za 3,2... až přejdeme do plné rychlosti, kdy dochází ke změně v každém cyklu časovače.

6.2.2 Stanovení hodnoty časování a parametrů rozjezdů

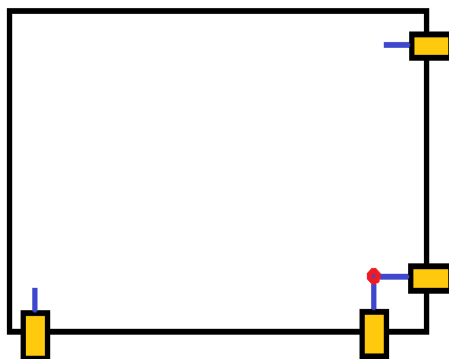
Perioda časování je nastavitelná z nadřazeného systému. Hodnota, kterou lze nastavit je omezená intervalem $< 10; 1000 >$ ms, což odpovídá frekvenci první harmonické řídicího signálu 1 – 100 Hz. Výchozí hodnota je po inicializaci nastavena na 50ms. Hodnota byla určena empiricky, jelikož motory jsou původně určeny pro jehličkové tiskárny a počítá se s menším zatížením, tudíž nebylo možné hodnoty vyčíst z tabulek.

Parametry rozjezdu jsou také nastavitelné. Výsledný tvar je možné ovlivnit dvěma konstantami – délka rozjezdové dráhy a počet stupňů rychlosti.

Rozjezd je optimalizován pro každou osu zvlášť; jen pro představu – např. méně zatížená horizontální osa má nyní parametry rozjezdové dráhy nastaveny na hodnoty *délka = 100 kroků*, *počet stupňů = 5*. Motor má 400 půlkroků na otáčku. Ještě upřesněme, že pod pojmem „krok“ v souvislosti s funkcí rozběhu motoru zahrnujeme elementární změnu pozice tj. krok pro řízení po krocích a poloviční krok pro řízení s polovičním krokem.

6.3 Kalibrace souřadného systému os

Polohu určujeme výhradně z informace o předchozí pozici a počtu kroků vykonaných krokovými motory. Poloha zařízení (mimo krajní polohy) není snímána, neboť ji lze vypočítat; za předpokladu že nedojde k ztrátě kroků, je tato informace o poloze správná. Je však nutno zajistit, aby zařízení nevyjelo mimo pracovní prostor např. v případě přetížení a ztráty informace o poloze. Za uvedeným účelem jsou v krajních polohách os instalovány koncové snímače (realizované optickými závory).



Obrázek 34: Schéma umístění snímačů v rovině X a Y

Na obrázku je uvedeno jednoduché schéma rozmístění snímačů v horizontálních osách X a Y. Červeným bodem je označen referenční bod. Jedná se o bod, kdy dojde k přerušení od změny signálové úrovně od (optického) snímače. Konstrukce pohyblivé části na sobě nese připevněnou planžetu (v každé ose), která v případě najetí na optickou závoru přetne světelný paprsek a způsobí změnu signálu na výstupu snímače, která vyvolá příslušnou obsluhu události.

Ve vertikální rovině Z je umístěn pouze jeden snímač pro horní polohu zařízení.

Výstupy snímačů jsou přivedeny na vstupy procesoru, jejichž změna vyvolá přerušení. V rámci přerušení pak proběhne patřičná obsluha. Pokud se zařízení ocitlo v krajní poloze, aniž by do ní bylo voláno za účelem kalibrace polohy, je zřejmé, že se jedná o chybu, zařízení je zastaveno a je signalizován chybový stav.

Pokud je požadována kalibrace polohy, zařízení najíždí do referenčního bodu, který má vnitřně nastaven jako počátek absolutního souřadného systému. V tomto případě mohou nastat dva případy.

1. Dojde k přerušení dříve, než systém snížil interní informaci o poloze na nulu. V uvedeném případě se v rámci přerušení vyhodnotí, že systém prováděl kalibraci a hodnota interního počítadla se uloží jako velikost chyby (skutečná souřadnice byla o uvedenou hodnotu menší než údaj v paměti zařízení).
2. Systém se zastaví v místě, kde je očekáván počátek absolutního souřadného systému os. Jestliže nedošlo k přerušení, je zřejmé, že interně udržovaný údaj je větší než skutečná pozice. Systém se pomalu pohybuje dále stejným směrem až do vyvolání přerušení. Absolutní hodnota číselného údaje interního počítadla představuje velikost chyby.

V obou případech je po najetí na referenční bod počítadlo vynulováno. Pokud velikost chyby nepřekročila stanovený limit, systém pokračuje v činnosti. Pokud chyba překročila stanovenou hranici, systém se zastaví. Tolerance byla stanovena na 20 pulzů (což odpovídá asi 2mm).

Obdobně jsou na vstupy přerušení přivedena dvě uživatelská tlačítka. První z tlačítek má funkci „STOP“ tj. provede zastavení systému, uvedené tlačítko mimo jiné resetuje a blokuje výkonové členy motorů, a opětovné odblokování musí být provedeno programově z mikrokontroléru. Je tak zajištěno, že funkce nouzového zastavení motorů je nezávislá na programu, nicméně i řídicí program je o této skutečnosti uvědomen, právě prostřednictvím vyvolání přerušení.

Druhé tlačítko slouží k manuálnímu vynucení kalibrace zařízení. Kalibrace je spuštěna rovněž po zapnutí zařízení, může být také vynucena prostřednictvím zprávy od nadřazeného systému zaslané po sériové lince. Dále je úloha kalibrace naplánována ve chvíli kdy součet ujetých drah od poslední kalibrace překročil předem definovanou hodnotu. Při kalibraci zhodnotíme velikost odchylky od správné hodnoty. Střední hodnota chyb by sice měla být nulová, nelze se však na tuto skutečnost spoléhat. Pokud chyba není fatální, systém po kalibraci pokračuje v práci, pokud došlo k závažné chybě, systém je zastaven a je nastaven poruchový stav.

6.4 Funkce spouštěné plánovačem úloh

Funkce spouštěné operačním systémem můžeme rozdělit do dvou skupin, jednak jsou to funkce, které jsou naplánovány pro jeden běh, a jednak funkce cyklicky volané.

Veškeré jednorázově spouštěné funkce jsou plánovány v rámci přerušení od sériové linky. V rámci přerušení dojde k postupnému složení zprávy a je-li zpráva platná je naplánována funkce pro její analýzy. Funkce představuje stavový automat, kde v označených (koncových) stavech probíhá nové plánování, a to plánování funkce odpovídající požadavkům stanoveným ve zprávě. Sada funkcí, které lze plánovat úzce souvisí s komunikačním protokolem a je popsána níže. Po splnění požadované operace je naplánováno potvrzení nadřazenému systému.

Dále jsou zde implementovány funkce, které jsou plánované jako cyklicky volané. Jednak se jedná o funkci snímání vstupů od tlačítek s nízkou prioritou. Uvedená tlačítka nejsou přivedena na vstupy s možností přerušení, jednak proto, že uvedených vstupů je nedostatek, a také z důvodu nízké priority funkcí obsluhujících tlačítka. Tlačítka slouží k manuálnímu pohybu manipulátoru, přičemž pohyb je povolen pouze v případě, že manipulátor nevykonává žádnou činnost zadanou z nadřazeného systému, tj. pokud je zařízení nečinné. Stavby tlačítek jsou periodicky snímány. V neposlední řadě jsou na desce osazeny signalizační LED-diody pro indikaci stavu zařízení. Hodnota výstupů vybraných LED-diod je aktualizována v rámci periodicky volané funkce monitorující stav systému.

7 KOMUNIKAČNÍ PROTOKOL

Na následujících řádcích bude podrobněji popsána poslední verze navrženého komunikačního protokolu. První dvě vrstvy protokolu jsou přebrány jako firemní standard, jejich konkrétní implementace je know-how firmy, tudíž bude popsána pouze základní funkce uvedených vrstev, nad uvedenými vrstvami je postavena vlastní aplikační vrstva, která definuje formát zasílaných zpráv. Aplikační vrstva je sice vlastní, ale vychází ze společné diskuse problematiky a řídí se firemními zvyklostmi.

7.1 Fyzická vrstva

Přenos dat na fyzické úrovni je založen na sériové asynchronní komunikaci typu UART. Na straně PC je použit port RS232 případně virtuální sériový port přes USB. V případě připojení mikrokontroléru na port RS232 nejsou napěťové úrovně signálů kompatibilní, je proto zapotřebí převodníku napěťových úrovní – ten na desce integrován není (ve firmě je používán pro uvedený převod signálových úrovní hotový externí modul). Varianta připojení desky na port USB je realizována jako komunikace přes virtuální sériový port, ze strany mikrokontroléru se jedná o klasickou komunikaci typu UART, mezi PC a mikrokontrolérem je zařazen převodník USB/RS232 (převodník je napájen ze strany PC a od mikrokontroléru je napěťově oddělen).

7.2 Linková vrstva

Vrstva na své nižší úrovni řeší časování signálů dat, dále zajišťuje detekci chyb přenosu. Pro detekci chyb je implementován CRC8.

Na vyšší úrovni se pak vrstva stará o navázání spojení a stav spojení nadále kontroluje (pravidelně jsou vyměňovány zprávy typu „nop“). Vrstva identifikuje zařízení dle jeho jména, je realizováno potvrzování zpráv. Uvedená podvrstva je využita v případě klasické komunikace zařízení a PC, nadřazená vrstva však pracuje se zprávami v ASCII kódu. Tyto zprávy je možno posílat i přes klasický terminál, pak se vyšší podvrstva linkové vrstvy do komunikace nezapojí.

7.3 Aplikační vrstva

Aplikační vrstva protokolu popisuje tvar zasílaných zpráv a je přizpůsobena potřebám komunikace s konkrétním zařízením. V rámci zachování firemních zvyklostí začíná každá zpráva znakem „dvojtečka“ a je ukončena dvojicí znaků <CR><LF>

:xxxxxxxxxx<CR><LF>

dvojtečka
třída příkazu
příkaz
osa
<i>hodnota</i>
osa
<i>hodnota</i>
osa
<i>hodnota</i>
<CR>
<LF>

Obrázek 35: Tvar příkazu pro manipulátor

Znak následující po dvojtečce byl zvolen jako specifikátor třídy příkazů:

- „C“ (command) – příkaz (vztahující se k pohybu manipulátoru)
- „S“ (settings) – nastavení parametrů a konstant
- „Q“ (query) – dotaz

Následuje další povinný znak, který specifikuje příkaz (z dané třídy), seznam příkazů je uveden níže (v kapitole 9.4).

Za specifikátorem příkazu následuje určení osy, jedná se opět o povinný údaj.

Dále je v případě některých příkazů očekávána hodnota. Hodnota je pro některé příkazy povinná, jiné příkazy pracují bez hodnoty.

V některých případech je možno specifikovat další osu (u vybraných příkazů – viz tabulka – je povinné určení všech os).

Celá sekvence je zakončena dvojicí znaků <CR> <LF>, uvedené dva znaky jsou opět povinné.

Jelikož zařízení provádí dlouhou sekvenci operací a úspěch každé akce je závislý na správném provedení akce předchozí, musíme zajistit, že všechny zprávy zaslané našemu zařízení přišly v pořádku. Proto na každý příkaz manipulátor odpoví nadřazenému systému zprávou v přesně definovaném tvaru.

Po diskuzi bylo dohodnuto, že odpověď bude kopírovat tvar příkazu, přičemž bude uvedena nikoli dvojtečkou ale znakem „D“ a v odpovědi již nebudou zasílány číselné hodnoty, s výjimkou odpovědi na příkazy typu „Query“, kdy číselná hodnota je užitečnou informací jakožto odpověď na dotaz.

"D"
třída příkazu
příkaz
osa
<i>(hodnota)</i>
osa
<i>(hodnota)</i>
osa
<i>(hodnota)</i>
<CR>
<LF>

Obrázek 36: Tvar odpovědi na příkaz (zaslaný z PC)

7.4 Příkazy pro manipulátor

Pro zařízení byla vytvořena sada příkazů za účelem možnosti plného a pohodlného ovládání. Jak bylo popsáno výše, příkazy se řadí do tří tříd. Jednotlivé příkazy budou podrobněji popsány.

Celkový souhrn příkazů včetně jejich tvaru ukazuje tabulka v příloze „Příloha 2“.

Třída příkazů Commands

Prvním příkazem je „S“ (stop) – zastavení motoru, příkaz nepracuje s žádnou numerickou hodnotou, očekáváno je pouze určení os, pro které příkaz „stop“ platí, lze vybrat jednu až tři osy, místo výčtu všech os je možno použít zástupný znak „hvězdička“.

Příkaz „C“ slouží jako povel „zajeď na pozici“. Za specifikátorem osy následuje číslo s rozsahem 1-4 digity, číslo je interpretováno jako vzdálenost od (relativní) nulové hodnoty osy v desetinách mm. Lze určit jednu až tři osy.

Příkaz „T“ (touch) je povel pro stisk na nastavené pozici, definuje se hloubka stisku i doba trvání stisku.

Příkaz „R“ má význam „jedť na referenci“ a slouží pro (vynucenou) kalibraci zařízení.

Třída příkazů Settings

Prvním z nastavovaných parametrů je „L“ – délka rozjezdové (dojezdové) dráhy motoru, druhý parametr „M“ určuje rychlostní profil dráhy (nárůst rychlosti není lineární, blíže byla optimalizace rozjezdu popsána v kapitole 6.2).

Příkaz „N“ modifikuje převodní konstantou mezi vzdáleností v mm a počtem kroků motoru. Konstantu převodu, stejně jako konstanty určující vlastnosti rozjezdu motoru, lze nastavit pro jednu či více os současně.

Příkazem „O“ je možno nastavit offset, tj. relativní nulu souřadné soustavy manipulátoru, Nastavení vyžaduje zadání hodnot offsetu pro všechny tři osy. Offset je zadáván vzhledem k absolutní souřadné soustavě (dané mechanickou konstrukcí).

Příkaz „T“ modifikuje konstantu časování pro řízení motorů. Pomocí uvedené konstanty je možné ovlivnit rychlost otáčení motorů.

Třída příkazů Query

Příkaz „P“ je dotazem na aktuální polohu manipulátoru. Manipulátor odpoví nadřazenému systému ve tvaru uvedeném v tabulce. Odpověď obsahuje souřadnice pozic všech tří os. Příkaz je vhodný zejména pro vizualizaci pohybů manipulátoru na PC.

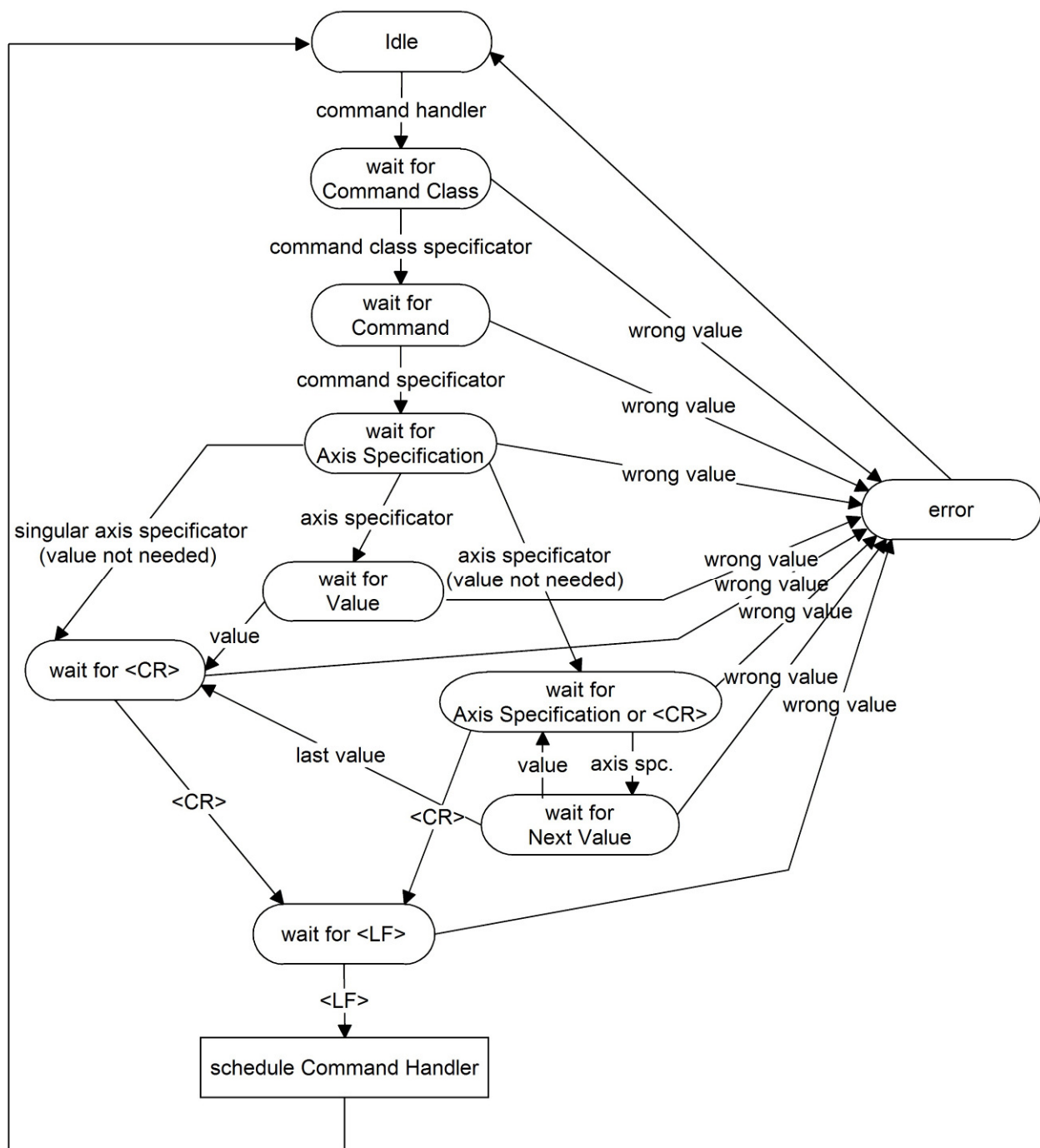
7.5 Implementace aplikační vrstvy

V rámci této práce byl implementován komunikační protokol na straně manipulátoru (implementace protokolu na straně nadřazeného systému, tj. řídicího PC, je předmětem práce kolegy z fakulty informatiky).

Zpráva přicházející z PC je zpracována stavovými automaty naprogramovanými do mikrokontroléru. Pro vyšší bezpečnost, lepší přehlednost kódu a v rámci zachování firemních zvyklostí je řetězec zpracován dvěma stavovými automaty.

7.5.1 Stavový automat CommandParser

První stavový automat „CommandParser“ kontroluje korektnost tvaru zprávy. Budeme-li analyzovat jeho funkci, zjistíme, že skládá řetězec příkazu z postupně přicházejících znaků a současně prochází jednotlivými stavy. Zpočátku se automat nachází ve stavu čekání na zprávu „Idle“ a setrvává v něm až do příchodu znaku „dvojtečka“. Je-li dvojtečkou uveden příkaz, automat očekává specifikátor třídy příkazů a následovně specifikátor příkazu z dané skupiny. Dále je očekáván specifikátor osy, a pokud to daný příkaz vyžaduje, číselná hodnota. Následuje specifikace dalších os případně očekávání dalších hodnot s ohledem na druh příkazu (u některých příkazů je povinná specifikace všech os). Korektní zpráva je zakončena dvojicí znaků <CR><LF>, jestliže stavový automat prošel stavem „wait for <LF>“ je naplánována úloha „CommandHandler“ představující druhý stavový automat, který již na základě řetězce zprávy provede příslušnou akci. Pokud v průběhu skládání zprávy přišel znak, jehož přítomnost činí příkaz nekorektním, automat přejde do stavu „error“, odstraní dosud sestavenou sekvenci znaků a přejde do stavu „Idle“. Zjednodušené schéma stavového prostoru automatu „CommandParser“ je na následujícím obrázku.

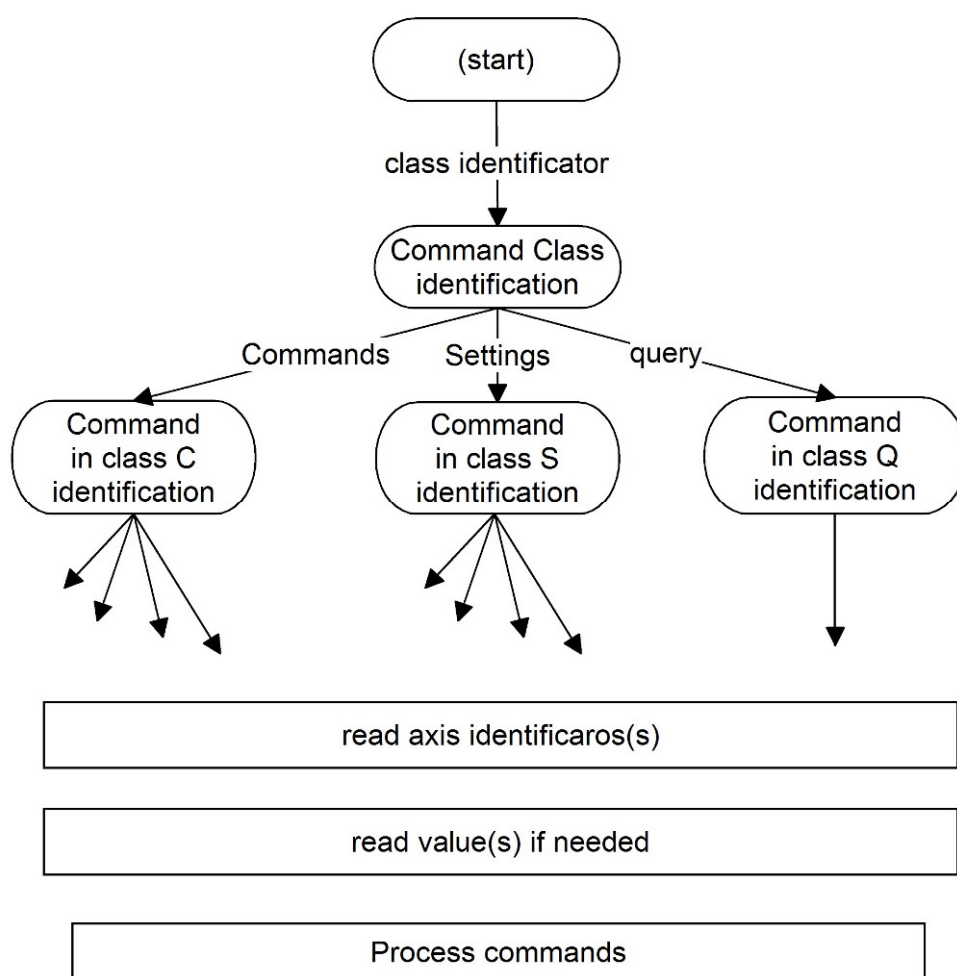


Obrázek 37: Vývojový diagram stavového automatu CommandParser

7.5.2 Stavový automat CommandHandler

Druhý stavový automat na základě již sestaveného řetězce provádí patřičné operace. Řetězec přichází ze stavového automatu CommandParser v korektním tvaru oříznut o úvodní znak „dvojtečka“ a znaky ukončovací (tj. <CR><LF>).

Vývojový diagram pro CommandHandler připomíná stromovou strukturu. Nejprve stanovíme třídu příkazů, pak konkrétní příkaz z vybrané třídy. Dříve než je zavolána funkce požadované operace, jsou stanoveny osy a hodnoty, které budou figurovat jako vstupní parametry volané funkce. Pro přečtení číselné hodnoty z řetězce byla vytvořena speciální funkce ReadValue.



Obrázek 38: Zjednodušený vývojový diagram funkce CommandHandler

7.6 Obsluha sériové linky

Poslední činností prováděnou v rámci přerušení je obsluha komunikace po sériové lince. Systém je za standardních podmínek připojen k nadřazenému systému, s nímž neustále komunikuje. V první fázi (po připojení) dojde k navázání komunikace, dále jsou přijímány, potvrzovány a odesílány zprávy, zajišťující ovládání řízení. Ale i ve stavu, kdy nedochází k výměně informací, je spojení stále udržováno, a jsou vyměňovány zprávy typu nop. Uvedené funkce realizují spodní vrstvy protokolu, který je užíván v rámci systému a v diplomové práci je použit jako hotový produkt doplněný o aplikační vrstvu. V rámci tohoto přerušení je po složení platné zprávy naplánována úloha pro operační systém, která realizuje zpracování zprávy (viz výše).

8 ZÁVĚR

Těžiště diplomové práce spočívá v realizaci řídicí elektroniky manipulátoru. Opomenuta však nezůstala ani úvodní teoretická část, ve které je čtenář seznámen s problematikou testování termostatů vyvíjených firmou Honeywell a je mu předložena diskuze možných řešení zadané problematiky.

Samotný návrh řídicí elektroniky pro manipulátor byl pro lepší přehlednost pojednán obecně v rámci kapitoly popisující základní koncepci a následně bylo navrženo (a fyzicky realizováno) konkrétní zapojení elektroniky, které je v diplomové práci zdokumentováno včetně odůvodnění jednotlivých částí a výpočtu hodnot součástek. Schéma zapojení elektroniky a podklady pro výrobu desky plošného spoje jsou přiloženy na CD. Dále je v elektronické podobě přiložen řídicí (řádně okomentovaný) program pro mikrokontrolér ATmega128A, kterým je řídicí deska osazena. Obecná funkčnost programu je popsána v rámci posledních kapitol této práce, popis jednotlivých funkcí je obsažen v příloze.

Zařízení bylo navrženo s ohledem na maximální univerzalitu, nejedná se proto pouze o řídicí elektroniku pro konkrétní zařízení, ale o velice univerzální řadič krokových motorů, který je vybaven konektory pro připojení koncových snímačů, ovládacími tlačítky a v neposlední řadě rozhraním, které umožňuje komunikaci s PC. Zařízení je připojeno prostřednictvím USB k počítači, kde je (po instalaci ovladače) nalezeno na novém virtuálním sériovém portu. Ke komunikaci slouží jednoduchý ASCII protokol, který byl pro tento účel v rámci diplomové práce navržen, naprogramován a zdokumentován. Se zařízením tak lze komunikovat pomocí terminálu, rovněž je možno začlenit ASCII komunikaci do složitějšího komunikačního protokolu, jak tomu ostatně je i v případě zadavatele.

Řídicí elektronika je dále vybavena LED diodami pro signalizaci stavů zařízení, mimo tlačítek umožňujících pohyb manipulátoru jsou obsažena i tlačítka s prioritními funkcemi jako je nouzové zastavení nebo vynucení kalibrace souřadného systému.

Navržený software je přenositelný i na jiný typ mikrokontroléru. Jelikož většina funkcí je psána obecně a používá volání přes definice, je po modifikaci definic možno většinu funkcí použít i na jiném hardwaru.

V rámci další optimalizace řešení by bylo ještě vhodné odladit mechanické provedení řízeného manipulátoru za účelem snížení hluchosti, uvedená problematika však není náplní této práce. Dále by bylo vhodné rozšířit elektroniku o obvody realizující proudové omezení nebo přidat doplňující bezpečnostní funkce (v současné době je používáno napájecí napětí, na které může být motor trvale připojen; v případě použití větších napájecích napětí by bylo potřeba věnovat vyšší pozornost otázkám řešení případných kolizních stavů, např. přetížení v důsledku nárazu na překážku a podobně).

9 LITERATURA

- [1] Honeywell International Inc. *Teromstats* [online]. 2010, [cit. 2010-3-23]. Dostupné z: <http://www.forwardthinking.honeywell.com/products/thermostats/thermostat_products.html>.
- [2] PATOČKA, M., VOREL, P. *Řídicí elektronika – pasivní obvody I. díl*. Brno: Nakladatelství VUTIUM, VUT Brno, 2004. 166s.
- [3] SEDLÁČEK, J., VALSA, J. *Elektrotechnika II*. Brno: Nakladatelství VUTIUM, VUT Brno, 2002. 186s.
- [4] FIEDLER, P. *Model ISO-OSI* [slide k výuce]. Brno: VUT FEKT 2010. 20 s.
- [5] Honeywell International Inc. *HOA1872 Transmissive Sensor* [online]. 2009, [cit. 2010-3-23]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/521/521-045/dsh.521-045.1.pdf>.
- [6] Laser Photonics. *Fiber Laser Cutting Robotics* [online]. 2010, [cit. 2010-3-23]. Dostupné z: <<http://www.laserphotonics.com/products/industrial/robot.php>>.
- [7] Excitech. *SHG0609 Advertising CNC Router* [online]. 2010, [cit. 2010-3-23]. Dostupné z: <<http://www.excitech-cnc.com/3b-advertising-cnc-router.html>>.
- [8] robotika.cz (Kamil Řezáč). *Krokové motory* [online]. 2002/10, [cit. 2010-3-23]. Dostupné z: <<http://robotika.cz/articles/steppers/cs>>.
- [9] Allegro MicroSystems Inc. *BiMOS II unipolar stepper-motor translator/driver* [online]. 2000, [cit. 2010-3-23]. Dostupné z: <<http://www.gme.cz/cz/ucn5804b-p383-010.html>>.
- [10] POLOLU Robotics & Electronics. *A4983 Stepper Motor Driver Carrier with Voltage Regulators* [online]. 2009, [cit. 2010-3-23]. Dostupné z: <<http://www.pololu.com/catalog/product/1202>>.
- [11] ELEKTRO odborný časopis pro elektroniku. *Snímače pro indikaci koncových poloh* [online]. 2002/06, [cit. 2010-3-23]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=25066>.
- [12] STMicroelectronics. *Dual full-bridge driver* [online]. 2008, [cit. 2010-3-23]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/332/332-005/dsh.332-005.1.pdf>.
- [13] Virginia.gov. *The computer delivered architect registration examination* [online]. 2. 3. 2010, [cit. 2010-3-23]. Dostupné z: <http://www.dpor.virginia.gov/dporweb/ape_su95.cfm>.
- [14] Foamplotter.eu. *LYNX-T1 hot wire foam cutting plotter* [online]. 2010, [cit. 2010-3-23]. Dostupné z: <<http://www.foamplotter.eu/index.php?page=Info&name=LynxT1>>.
- [15] Asger Andersen. *Catalog* [online]. 2010, [cit. 2010-3-23]. Dostupné z: <http://aa-gorlev.mi.dk/catalog/popup_image.php?PID=8008>.
- [16] TSC. *Super Fast Rectifiers* [online]. 05/2005, [cit. 2011-4-5]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/223/223-132/dsh.223-132.1.pdf>.
- [17] Philips Semiconductor. *Dual 4-bit bingy ripple counter* [online]. 12/1990, [cit. 2011-4-5]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/425/425-084/dsh.425-084.1.pdf>.
- [18] Silicon Labs. *Single-chip usb to uart bridge CP2102* [online]. 2008, [cit. 2010-12-28]. Dostupné z: <<http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/cp2102.pdf>>.

- [19] Atmel. *8-Bit AVR Microcontroller with 128KBytes In-System Programmable Flash* [online]. 02/2010, [cit. 2010-12-29]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8151.pdf>.
- [20] Sparkfun Electronics. *Arduimoto - Motor Driver Shield* [online]. 6/2010, [cit. 2011-1-4]. Dostupné z: <http://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/Arduimoto_v12.pdf>.
- [21] Recom. *INNOLINE DC/DC-Converter* [online]. 01/2009, [cit. 2011-1-4]. Dostupné z: <<http://www.recom-power.com/pdf/Innoline/R-78xx-0.5.pdf>>.
- [22] Honeywell Česká republika. *O nás* [online]. 2004, [cit. 2011-4-28]. Dostupné z: <<http://www.honeywell.com/sites/cz/O-nas.htm>>.
- [23] Wikipedia. *Honeywell* [online]. 11/2007, aktualizováno 4/2011, [cit. 2011-4-28]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Honeywell>>.
- [24] STMicroelectronics. *ULN2003A* [online]. 02/2002, [cit. 2011-5-4]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/380/380-005/dsh.380-005.1.pdf>.
- [25] NXP B.V. *74HC00 Quad 2-input NAND gate* [online]. 11/2010, [cit. 2011-5-4]. Dostupné z: <http://www.nxp.com/documents/data_sheet/74HC_HCT00.pdf>.
- [26] Texas Instruments. *ISO7221C - Dual Digital Isolators* [online]. 1/2010, [cit. 2011-5-4]. Dostupné z: <<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/iso7221c.pdf>>.
- [27] Sihája. *Bipolární krokový motor* [online]. 1/2010, [cit. 2011-5-6]. Dostupné z: <<http://www.sihaja.cz/atmel8051/konstrukce/motor/motor.html>>.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

atd.	a tak dále
resp.	respektive
např.	na příklad
pozn.	poznámka
str.	strana
tj.	také jinak
$u(t)$	závislost napětí na čase
$i(t)$	závislost proudu na čase
R	odpor
L	indukčnost
I	proud (amplituda)
U	napětí (amplituda)
f	frekvence

11 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Schéma zapojení řídicí elektroniky manipulátoru

Příloha 2: Deska plošného spoje

Příloha 3: Komunikační protokol

Příloha 4: Popis naprogramovaných funkcí

Dále na přiloženém CD:

- Elektronická verze této práce ve formátu PDF
- Elektronická verze Příloh 1 a 2 ve formátu PDF
- Deska plošného spoje (gerber data)
- Zdrojový kód pro mikroprocesor na řídicí desce manipulátoru (včetně komentářů v anglickém jazyce)
- Dokumentace k motorům
- Vybrané manuálové stránky k součástkám uvedené v kapitole Literatura
- Fotografie zařízení